

ROBERTO CARLOS DE ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES DE CAMBISSOLOS
DERIVADOS DE ARENITO SUBMETIDOS A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima

CURITIBA
1998



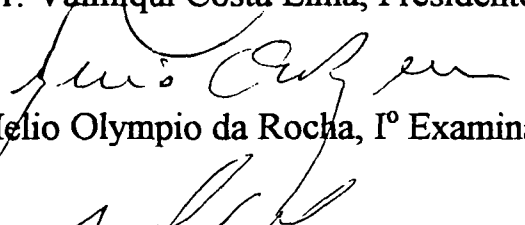
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO
C.P. 2959, FONE 041-2545464 R157, FAX 041-2523689 CURITIBA PR 80.035-050
E-mail: pccisolo@agrarias.ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ROBERTO CARLOS DE ALMEIDA**, com o título: **"Caracterização de propriedades de cambissolos derivados de arenito submetidos a diferentes condições de manejo"** para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação com média **9,0** - conceito **"A"** completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 04 de setembro de 1998.


Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima, Presidente.


Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, Iº Examinador.


Prof. Dr. Anibal de Moraes, IIº Examinador.

Dedicatória

Durante toda a minha formação estudantil e profissional, ficou evidente que sem o auxílio de familiares e de amigos, não há como atingir um objetivo final.

Dedico este trabalho a memória do meu pai, a "mi madrecita" que sempre me estimulou e se emocionou quando me tornei um agrônomo.

A minha esposa, amiga e parceira Nadjá.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Valmiqui pela oportunidade de haver ingressado no mestrado e pela sua orientação segura.

À Professora Jane pelas discussões da micromorfologia.

À Professora Nadja pelos difratogramas da mineralogia.

Ao Prof. Luchesi pela amizade e cooperação.

Ao Mestrando Jorge Kusdra pela ajuda na elaboração da estatística e dos gráficos

Aos amigos Arnaldo Sudoviski e Paulo Watanabe, que me acompanharam durante a minha vida estudantil e profissional e especialmente aos amigos Edumar Koslowski Ribas e Paulino Takao Sakae, pelas longas e empolgantes conversas sobre a profissão, política e sobre a vida.

À UFPR por mais um título alcançado.

Ao governo brasileiro que através da CAPES custeou o meu estudo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	vi
	LISTA DE QUADROS.....	vii
	RESUMO.....	ix
	ABSTRACT.....	x
1.0	<u>INTRODUÇÃO.....</u>	01
2.0	<u>REVISÃO DA LITERATURA.....</u>	03
2.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	03
2.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	12
2.3	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS.....	18
2.4	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	22
2.5	CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS.....	25
3.0	<u>MEIO FÍSICO.....</u>	31
3.1	SITUAÇÃO GEOGRÁFICA.....	31
3.2	GEOLOGIA.....	31
3.3	SOLO.....	31
3.4	VEGETAÇÃO.....	32
3.5	CLIMA.....	33
3.6	USO ATUAL DA TERRA.....	33
4.0	<u>MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	35
4.1	<u>MÉTODOS DE CAMPO.....</u>	35
4.1.1	ANÁLISES FÍSICAS.....	36
4.1.2	ANÁLISES QUÍMICAS.....	36
4.1.3	ANÁLISE MINERALÓGICA.....	37
4.1.4	ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA.....	37
4.1.5	ANÁLISES MORFOLÓGICAS.....	37
4.2	<u>MÉTODOS DE LABORATÓRIO.....</u>	38
4.2.1	ANÁLISES FÍSICAS.....	38
4.2.1.1	Análise granulométrica.....	38
4.2.1.2	Densidade do solo e das partículas do solo.....	38
4.2.1.3	Porosidade total.....	38
4.2.2	ANÁLISES QUÍMICAS.....	39
4.2.3	ANÁLISES MINERALÓGICAS.....	41
4.2.4	ANÁLISES MICROMORFOLÓGICAS.....	41
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	42
5.0	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	43
5.1	<u>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....</u>	43
5.1.1	DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DO SOLO.....	44
5.1.2	DENSIDADE DO SOLO.....	44
5.1.3	GRANULOMETRIA.....	50
5.1.4	POROSIDADE TOTAL.....	54
5.2	<u>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....</u>	56
5.2.1	ALUMÍNIO TROCÁVEL.....	56
5.2.2	pH.....	59
5.2.3	ACIDEZ POTENCIAL.....	62
5.2.4	CARBONO.....	65

5.2.5	CTC MINERAL.....	69
5.2.6	CTC POTENCIAL.....	70
5.2.7	CTC EFETIVA.....	72
5.2.8	SATURAÇÃO POR BASES.....	75
5.2.9	SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO.....	77
5.2.10	CÁLCIO e MAGNÉSIO.....	79
5.2.11	POTÁSSIO TROCÁVEL.....	82
5.2.12	FÓSFORO.....	85
5.3	ANÁLISE MINERALÓGICA.....	90
5.4	ANÁLISE MORFOLÓGICA.....	96
5.5	ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA.....	100
6.0	<u>CONCLUSÕES.....</u>	112
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	115
	<u>ANEXOS.....</u>	126
	DESCRIÇÃO DOS PERFIS.....	126
	PERFIL 1 (Plantio Direto).....	126
	PERFIL 2 (Pastagem).....	127
	PERFIL 3 (Plantio Convencional).....	128
	PERFIL 4 (Florestamento).....	129
	ANÁLISES DE VARIÂNCIA.....	130

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

01	Varição da densidade das partículas em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	45
02	Varição da densidade do solo em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	46
03	Concentração de areia em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	51
04	Concentração de silte em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	52
05	Concentração de argila em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	53
06	Valores da porosidade total determinada em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	55
07	Teor de alumínio trocável em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	58
08	Valores de pH em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	60
09	Acidez potencial do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	63
10	Teores de carbono orgânico no solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	66
11	CTC potencial do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	71
12	CTC efetiva do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	73
13	Saturação de bases a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	76
14	Saturação de alumínio no solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	78
15	Teores de cálcio e magnésio trocáveis nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	81
16	Teores de potássio nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	84
17	Fósforo extraível do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos.	86
18	Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Bi do plantio direto.	92
19	Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Bi da pastagem.	93
20	Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Bi do plantio convencional.	94
21	Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Bi do florestamento de <i>pinus sp.</i>	95
22	Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de plantio direto.	104
23	Imagens de seções delgadas em área de plantio direto (camada 0-5 cm) mostrando a presença de restos vegetais.	105
24	Imagens de seções delgadas da área de plantio direto (camada 5-10 cm) mostrando: A-Corte transversal em raiz; B-Trama grânica, destacando-se predominância de material grosseiro sobre o material coloidal.	106
25	Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de pastagem.	107
26	Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade	

	na área de plantio convencional.	108
27	Imagens de seções delgadas em área de plantio convencional (camada 5-10 cm) mostrando: A-Canal; B-Atividade da fauna em canal	109
28	Imagens de seções delgadas em área de plantio convencional, mostrando a presença de restos vegetais; corte transversal de raiz na camada 10-20 cm.	109
29	Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de florestamento.	110
30	Imagens de seções delgadas em área de florestamento mostrando: A-Raiz (camada de 5-10 cm); B-Atividade da fauna em canal (camada de 10-20 cm).	111
31	CTC Mineral na área de plantio direto.	139
32	CTC Mineral na área de pastagem.	139
33	CTC Mineral na área de plantio convencional.	140
34	CTC Mineral na área de florestamento.	140

LISTA DE QUADROS

QUADRO

01	Características físicas	43
02	Características químicas	89

RESUMO

Este trabalho analisou comparativamente as alterações ocorridas em solos do arenito "Itararé", localizados no 2º planalto paranaense, no município de Palmeira (25º S latitude, 50º OW longitude), a 1.000 m de altitude, em uma propriedade denominada Capão das Antas. Os solos estudados foram classificados como sendo Cambissolo ta álico/distrófico com horizonte A proeminente/moderado, textura média e argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado. O objetivo foi avaliar as alterações ocorridas em consequência da utilização de diferentes sistemas de manejo, em algumas de suas características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas e micromorfológicas. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas em 4 áreas (plantio direto, pastagem, plantio convencional e florestamento) com 6 profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60 cm) e 5 repetições. Os resultados mostraram para as condições estudadas que: Os maiores teores de bases trocáveis e pH foram encontrados no plantio direto e, os de alumínio trocável e acidez potencial no solo sob pastagem; no plantio direto, a calagem sem incorporação, aumentou na camada superficial, significativamente os teores de cálcio + magnésio, o pH, a saturação por bases e diminuiu o alumínio trocável, os teores de fósforo e potássio foram maiores devido as constantes adubações e a falta de revolvimento do solo. Em todas as áreas estudadas, os teores de cálcio e magnésio e potássio, diminuíram com a profundidade, possivelmente acompanhando a variação da matéria orgânica. Apesar dos solos apresentarem uma CTC elevada, os principais constituintes da fração argila são a caulinita, Vermiculita Hidroxi Alumínio entre camadas (VHE), Gibbsita e Mica. Observou-se uma relação inversa entre a densidade do solo e a porosidade total, as quais não apresentaram variação regular com a profundidade ou apresentaram tendências diferentes em cada perfil, a pastagem apresentou maior tendência à compactação em superfície seguida pelo plantio convencional, plantio direto e florestamento, a pastagem apresentou maiores valores de densidade do solo nas profundidades de 0-5 cm, devido ao pisoteio do gado na superfície, e a 30-40 cm para os quais não existe evidência suficiente para se relacionar ao sistema de cultivo; a densidade das partículas aumentou com a profundidade em todos os tratamentos. A areia grossa predominou sobre a areia fina em todos os perfis estudados, sendo a relação silte/argila mais elevada no plantio convencional. Os solos possuem uma morfologia semelhante, exceto para os horizontes superficiais, onde o cultivo promoveu a formação do horizonte Ap. A análise micromorfológica também detectou a predominância da fração grosseira em todas as áreas estudadas, apresentando três tipos básicos de arranjo: porfirica, granóidica e grânica, também revelou uma microagregação bem desenvolvida com poros grandes e intercomunicantes no solo sob florestamento.

ABSTRACT

A field experiment was carried out in 1996 at the Capão das Antas farm, Palmeira, State of Paraná, (25° S latitude, 50° OW longitude), with a elevation near 1.000 m above sea level, the objective was to determine through field determinations, the effect of soil tillage methods (no tillage, native grassland, conventional, florestation) on morphological, micromorphological, physical, chemical and mineralogical characteristics of Inceptissols, from soils found overlying "Itararé" sandstone. The following soil parameters were measured: density, total porosity, texture, organic matter, CEC, exchangeable hydrogen, aluminium, calcium + magnesium and potassium, available phosphorus. The experiment was run in a completely randomized design with split plot structure sub-divided in four levels, six depths (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60 cm) and five repetitions. The results showed that the soil pH, exchangeable calcium + magnesium, soil basis saturation were statistically increased by liming, while exchangeable aluminum concentration statistically decreased. Distribution of exchangeable calcium + magnesium, available phosphorus, potassium and pH were higher near soil surface (0-5 cm depth) and gradually decreased from there, according to the organic matter, extractable phosphorus level was higher on no tillage than under other soil tillage methods, due the lack of its mixture with the soil resulted from soil tillage, no different effects were observed in deep layers. Despite the high values of the CEC, kaolinitic is the dominant clay mineral, followed by gibbsite, hydroxy interlayered vermiculite (VHI) and minor components as mica. Soil physical characteristics, density and total porosity, were affected by treatments, the increase in bulk density is associated to the reduction of total porosity, the successive cultivations induces differences for each soil, native grassland area caused 0-5 cm soil layer compaction due the animals pasture and 30-40 cm soil depth, for which there is no evidence, no tillage showed a 0-5 cm soil layer compaction due the successive cultivations, reducing total porosity and increased bulk density; particle density increased in soil profile. Rough sand was dominant over fine sand in all soils profiles, while the clay/silt relationship was higher in conventional treatment. Pedogenetic interpretation were based on morphological, particle size distribution and micromorphological determination, colour, texture and structure remained practically constant; the soils have a similar morphology, except for the surface horizon, where the cultivations promoted the development of an Ap horizon. The micromorphology revealed a well developed microaggregation with large and interconnected pore space in the soil of florestation.

1.0 INTRODUÇÃO

Na região centro sul do Estado do Paraná, a fertilidade natural dos solos é baixa por serem estes originados de arenitos, determinando elevada acidez associada a reduzidos teores de bases trocáveis e alta concentração de alumínio, o que vem a se constituir no principal fator responsável pela diminuta produtividade agrícola em condições de baixa tecnologia.

A região dos Campos Gerais do Paraná era, tradicionalmente, caracterizada pela pecuária extensiva devido à vegetação natural ser constituída de campos nativos. Porém, nas últimas décadas, houve uma mudança acentuada no regime de sua exploração, que levou a substituição gradativa desse ecossistema por culturas agrícolas e espécies florestais de rápido crescimento.

No entanto, o uso intensivo desses solos e o emprego sistemático de práticas agrícolas inadequadas, com predominância de preparo superficial excessivo, com ocorrência de elevadas perdas de solo por erosão e queima dos resíduos culturais, têm modificado significativamente suas características originais. As principais modificações têm sido evidenciadas pela: redução dos teores de matéria orgânica e degradação estrutural do solo, pelo aumento da densidade do solo, pela redução do tamanho dos agregados, da macroporosidade, da taxa final de infiltração, da capacidade de retenção de água e pela minimização desenvolvimento radicular das plantas. Além do mais, tais práticas têm exposto à superfície camadas mecanicamente menos resistentes ao tráfego de máquinas.

A mudança na vegetação natural e a implantação de culturas e reflorestamentos, juntamente com as práticas de manejo normalmente usadas na agricultura, tendem a modificar as características físicas e químicas do solo, como: densidade, porosidade, distribuição do tamanho dos poros e o teor de matéria orgânica do solo.

O objetivo desse trabalho consistiu em avaliar as alterações ocorridas em algumas características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas e micromorfológicas em solos situados no município de Palmeira e utilizados com diferentes manejos (plantio direto, plantio convencional, florestamento e campo nativo).

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Quando o solo passa de uma condição natural, mata ou campo nativo, para o cultivo anual, ocorrem modificações nas suas características físicas, sendo estas proporcionalmente afetadas pela intensidade de preparo do solo; tais alterações são evidenciadas pelo: aumento da densidade do solo, decréscimo do número de macroporos e pela redução no tamanho de agregados e taxa de infiltração de água (ROS et al., 1997).

As modificações nas características físicas dos solos dependem, sobremaneira, da estrutura e do tipo de cobertura vegetal; assim, o solo sob uma população florestal apresenta comportamento diferente daquele apresentado sob culturas agrícolas e pastagens, uma vez que tais usos contribuem diferentemente para modificações nas características físicas, químicas e biológicas do solo em que se desenvolvem, atingindo um equilíbrio entre a vegetação, solo e o clima (VELASCO, 1979; RYAN et al., 1983).

As gramíneas propiciam boa cobertura do solo, são as mais eficientes na agregação do solo, minimizando a destruição dos agregados e reduzindo o escoamento superficial da água, aumentando a infiltração e diminuindo o efeito da erosão (TISDALL et al., 1980), possuem sistema radicular agressivo, de grande extensão, distribuição e atividade, conseguindo explorar os baixos teores de nutrientes dos solos (VICENZI, 1986).

As práticas de manejo podem levar a alterações nas propriedades físicas da superfície e da subsuperfície do solo, entre as quais a estrutura, a densidade do solo e a porosidade; a natureza dessas alterações pode ser temporária ou permanente; a estabilidade das unidades estruturais, agregados, têm demonstrado variação dependente do tipo de manejo do solo, das

culturas e dos efeitos combinados dos diversos agentes físicos, químicos e biológicos (BERTOL, 1994).

De um modo geral, o aumento do número de operações, principalmente com equipamentos de preparo secundário do solo, diminuem a rugosidade e a porosidade total da camada preparada (BURWELL et al, 1963), e aumenta ainda a desagregação e a quantidade de solo disponível ao transporte (COGO et al, 1981), facilitando a formação de sulcos e as perdas de solo (COGO et al, 1984).

A incorporação ao solo de grandes quantidades de resíduos, pode reduzir as perdas de solo, devido ao efeito mecânico de "ancoramento" do resíduo vegetal no solo, evitando o seu transporte pela enxurrada (BERTOL, 1994)

As propriedades físicas do solo influenciam o crescimento das raízes; diferentes tipos de solos apresentam comportamentos diferentes, quando submetidos à compactação, por possuírem características diferentes, destacando-se, entre elas, a textura (BODMAN e CONSTANTIN, 1966).

A magnitude das alterações, depende do tipo de solo e dos sistemas de manejos utilizados. Os efeitos mais nocivos são atribuídos aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo do solo e que propiciam baixa adição de resíduos orgânicos (restos culturais, raízes, exudações), o que afeta o teor de matéria orgânica que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (TISDALL et al., 1982).

O preparo do solo por atuar diretamente em sua estrutura, vai afetar as características físicas; os solos tendem a perder a estrutura original pela destruição dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução de macroporos, aumento de microporosidade e densidade do solo e resistência mecânica à penetração das raízes na camada arável, características estas que atuam diretamente na infiltração e retenção de água e que irão

influenciar o processo erosivo (CARPENEDO et al.,1991), o intenso revolvimento do solo para a implantação das culturas, coincidindo, em geral, com épocas de precipitações elevadas, têm provocado, ao longo dos anos, expressivas perdas por erosão (COGO, 1997).

Outro aspecto importante em relação aos sistemas de preparo, diz respeito às diferentes quantidades de resíduos que permanecem sobre a superfície do solo após o preparo e que, juntamente com a rugosidade superficial e as propriedades hidráulicas do solo, influenciam as taxas de infiltração; sendo importante proteger a superfície do solo contra o impacto das chuvas, com o intuito de preservar as propriedades do solo e de reduzir a erosão (DEDECEK, 1989).

Os resíduos culturais na superfície do solo, contribuem para conservação da água e estabilidade dos agregados, diminuem as oscilações térmicas e as perdas de partículas de solo pela erosão hídrica.

O controle do processo erosivo requer um aumento na permeabilidade do solo e nas taxas de infiltração, sendo assim a cobertura do solo propicia a interceptação da gota da chuva evitando o seu impacto e o selamento superficial, aumentando a rugosidade superficial e melhorando as condições para que a água infiltre no solo.

No plantio direto, devido a pouca mobilização e a grande quantidade de resíduos deixados na superfície do solo, tende-se a promover alterações morfológicas, físicas, químicas e biológicas, que por sua vez, se refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas e numa diminuição significativa das perdas de solo por erosão (ELTZ et al.,1989).

No entanto, solos cultivados no sistema de plantio direto, podem sofrer uma compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos em sua superfície e uma

consolidação natural, apresentando maior densidade na camada superior (FERNANDES et al., 1983; VIEIRA et al., 1978).

A compactação, caracteriza-se pela diminuição do volume do solo ocasionada por uma compressão, originando um rearranjo mais denso das partículas; tal processo resulta em redução da porosidade total, promovendo a microporosidade e uma redução de macroporos que armazenam e conduzem os gases, diminuindo a aeração do solo (KLUTE, 1982), reduz a profundidade de enraizamento, prejudicando a penetração e expansão de raízes, o que favorece a erosão; também afeta outros fatores como: disponibilidade de água e a temperatura do solo; a presença de camadas compactadas prejudica a sua produtividade seja por falta ou por excesso de água (TORMENA, 1991).

Embora os efeitos da compactação, pelo trânsito das máquinas, sejam identificados apenas após alguns anos de cultivo, eles podem ocorrer de imediato, no primeiro ano (SIDIRAS e VIEIRA, 1984). No sistema de plantio direto, a compactação pode aparecer na camada superficial do solo, e na subsuperficial no preparo convencional, podendo caracterizar um impedimento mecânico ao crescimento das raízes (CINTRA et al., 1983).

Os efeitos da erosão geralmente se traduzem numa redução da fertilidade do solo devido à perda de sua camada superficial; a ocorrência e a intensidade dessas modificações dependem do grau de umidade durante as operações de preparo e manejo, bem como de suas características (textura, estrutura e porosidade).

GAVANDE (1976), afirmou que a estrutura do solo não afeta diretamente as raízes das plantas, mas sim, outros fatores, tais como: aeração, compactação, relações de água e temperatura, além das interações entre elas.

Segundo SIDIRAS e VIEIRA (1984), baixos valores de densidade do solo estão diretamente relacionados com o volume total de macroporos, refletindo numa maior porosidade.

A densidade do solo pode sofrer alterações com o manejo, sendo este um dos principais parâmetros físicos utilizados para avaliar a compactação do solo; de um modo geral, a compactação do solo aumenta com o tempo de cultivo, principalmente em áreas muito mecanizadas. Isso ocorre geralmente na camada subsuperficial de solos cultivados ou sob pastagens (COSTA, 1985).

O valor final da densidade do solo vai depender da magnitude da carga aplicada sobre o solo e do conteúdo de água do solo durante as operações de preparo; o tráfego de máquinas e implementos tem um efeito marcante na alteração das propriedades físicas, com conseqüente formação de camada compactada, aumento na resistência à penetração de raízes e densidade do solo e decréscimo na macroporosidade, sendo o plantio convencional mais suscetível à variação da densidade do solo em relação aos demais tratamentos (TORMENA, 1991).

No plantio convencional, o preparo do solo tende a reduzir a densidade do solo na camada superficial e desta forma diminuir a resistência à penetração e promover um melhor crescimento das raízes, porém este efeito é temporário e tende a desaparecer com as chuvas; formando gradativamente, abaixo da camada arável, camadas subsuperficiais compactadas, quando as operações de preparo do solo são feitas sempre à mesma profundidade pois, ao passar pelo solo, qualquer implemento de preparo provoca a compactação de uma fina camada que pode ser agravada pelo excesso de umidade no momento da operação.

Por outro lado, segundo ANGHINONI e SALET (1995), os menores teores de carbono orgânico em solos revolvidos, estão relacionados com a intensidade do revolvimento,

devido à influência deste nos regimes de aeração, umidade e temperatura, ruptura de agregados, exposição da superfície, fracionamento e incorporação de resíduos culturais.

No plantio direto os solos podem sofrer uma compactação mecânica e uma consolidação natural, causando uma maior densidade em sua camada superior. Há uma tendência do solo de apresentar maiores valores de densidade e microporosidade com conseqüente diminuição dos volumes de poros totais e macroporos até uma profundidade de 15 cm e, abaixo desta, pode ocorrer uma semelhança de valores entre diferentes sistemas de preparos, fato observado em latossolos argilosos e de textura média (CENTURION e DEMATTÊ, 1985; CASTRO et al., 1987).

BONFANTE (1983), após três anos de plantio direto em um Latossolo Vermelho-Escuro, encontrou menor densidade, maior porosidade total e maior macroporosidade em relação ao preparo convencional.

Trabalhos de vários pesquisadores mostram que o plantio direto utilizado durante alguns anos, aumenta na superfície do solo o teor de carbono orgânico (CENTURION e DEMATTÊ, 1985; SIDIRAS e VIEIRA, 1984; TEIXEIRA, 1988).

CENTURION e DEMATTÊ (1985); CASTRO et al. (1987), estudando as propriedades físicas de um solo, concluíram que a maior densidade se reflete numa menor macroporosidade, maior microporosidade e numa resistência à penetração das raízes. Do arranjo dos poros do solo dependem a permeabilidade, a circulação do ar, o crescimento das raízes e a agregação do solo.

Em outro estudo, SIDIRAS e VIEIRA (1984), observaram que o efeito da compactação pelas operações de preparo em um Latossolo Roxo distrófico, atingiu 28 cm de profundidade sob o plantio convencional, enquanto que no plantio direto apenas a camada superficial (0-10 cm) foi afetada.

MORAES (1984), comparando o efeito do cultivo sobre um Latossolo Vermelho-Escuro submetido a 3 anos de plantio direto e convencional, comparados ao solo original, sob cerrado, encontrou aumento da densidade do solo e do teor de matéria orgânica em ambos os cultivos, diminuição da porosidade total e na estabilidade de agregados no plantio convencional e aumento do índice de plasticidade no plantio direto.

A quantidade e a distribuição dos poros no solo, afeta diretamente a infiltração de água. Apesar do sistema de plantio direto apresentar, em muitos casos, maior densidade do solo e maior microporosidade na camada superficial do solo, a infiltração da água é maior que no preparo convencional, devido, principalmente, ao menor selamento superficial dos poros proporcionado pelo aumento da rugosidade superficial, pela não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo e pela ação protetora da palha sobre a superfície (ALVARENGA et al., 1996).

Diferenças na densidade entre solos sob sistemas de manejo convencional e plantio direto, têm sido relatadas como significantes, mas nem sempre são encontradas (FERNANDES et al., 1983); vários autores comparando o plantio direto com o plantio convencional (ELTZ et al., 1989) após sete anos e (BLEVINS et al., 1983) após 10 anos de cultivo, não encontraram diferenças nas características físicas do solo.

Segundo CASTRO (1995), no plantio direto devido à não mobilização do solo, os valores de densidade são mais altos e mais homogêneos ao longo do perfil, enquanto que o sistema convencional apresenta valores baixos na profundidade de preparo, e valores mais elevados logo abaixo desta profundidade.

As essências florestais apresentam um comportamento diferente das culturas agrícolas, uma vez que, contribuem na melhoria das condições físicas e químicas do solo em que são implantadas (KAHIL, 1986).

Segundo CARPENEDO e MIELNCZUK (1991), a consorciação de gramíneas e leguminosas perenes por 4 anos (siratro, setária, desmódio), foi mais eficiente na agregação do solo do que a sucessão de trigo, soja, tremoço, milho e aveia com preparo reduzido de solo.

ROS et al. (1997), observaram que não houve diferença nos valores da densidade do solo encontrados na camada superficial (0-15cm) em tratamentos com menor mobilização do solo, ou seja, plantio direto e campo nativo.

TREIN ET AL. (1991), avaliando as propriedades físicas do solo após pastejo intensivo, verificaram que o pisoteio do gado compactou a camada superficial (0-7 cm), aumentando a densidade do solo e a microporosidade, com conseqüente diminuição macroporosidade e da taxa de infiltração de água no solo; à resistência a penetração também aumentou na camada superficial, limitando o desenvolvimento radicular.

Para CASTRO et al. (1987), as práticas de manejo, devem proporcionar um equilíbrio entre as necessidades de água pela planta e o seu suprimento; para isso, o ponto básico, na maior parte dos casos, passa pelo incremento da infiltração, a qual reduz as perdas de água proveniente das enxurradas, diminuindo a evaporação e aumentando, assim, a água armazenada no solo.

Por outro lado, várias propriedades da cobertura morta estão diretamente relacionadas com a temperatura do solo, fenômeno este intimamente associado ao movimento da água no sentido do solo para a atmosfera; pois a temperatura do solo exerce influência nos processos químicos, físicos e biológicos que nele ocorrem, tais como: germinação de sementes, expansão do sistema radicular, atividade de microorganismos e decomposição da matéria orgânica, afetando assim a disponibilidade de nutrientes para as plantas (BROWN 1995, BAVER et al., 1973).

A matéria orgânica, apesar de compreender menos de 4% do peso dos solos minerais, é responsável por uma série de reações que favorecem significativamente as propriedades morfológicas, físicas, químicas e biológicas dos solos; fornece nutrientes para as plantas, atua diretamente na estabilidade dos agregados melhorando a estrutura dos solos, aumenta a retenção de água devido ao alto poder hidrófilo do húmus, influencia as relações ar-água, auxilia no controle da erosão e melhora o desempenho dos equipamentos de preparo e plantio; o declínio da produtividade dos solos, cultivados continuamente, tem sido atribuído principalmente à erosão e à diminuição da matéria orgânica (GREENLAND, 1971).

SOUZA et al. (1982), estudando a capacidade de retenção de água em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob reflorestamento de pinus com 12 anos de idade e sob campo nativo, concluíram que os teores de matéria orgânica foram mais elevados em todo o perfil do reflorestamento, o qual propiciou maior capacidade de armazenamento de água devido ao tipo de matéria orgânica adicionada pelas acículas do pinus, e que à exceção da granulometria, o tamanho e a distribuição dos poros, são passíveis de serem alterados pelo reflorestamento.

A quantidade de material orgânico, sobre o solo, vai ser decorrente das condições climáticas, do tipo de solo, da espécie florestal e da idade do povoamento; BARROS e NOVAIS (1990), observaram que em solos pobres e com baixa precipitação, a umidade se constitui no fator mais importante no processo de decomposição da matéria orgânica.

MARUN (1996), estudando o efeito do desmatamento em um solo de textura média, constatou uma diminuição da porosidade das camadas inferiores, decorrente da migração de silte e argila do horizonte A para o B, obstruindo os macroporos, devido, possivelmente, à queda do teor de matéria orgânica do solo.

2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

O conhecimento da variabilidade das propriedades químicas do solo é fundamental para a coleta de amostras representativas de solos e para avaliação da sua fertilidade com vistas à recomendações de adubação e calagem.

A adoção de métodos de preparo pode auxiliar na melhoria das propriedades químicas, aumentando o seu potencial produtivo, geralmente a calagem é a prática mais comum para a eliminação da acidez dos solos e, aliada a adubação fosfatada, têm proporcionado melhores índices de produtividade.

As principais diferenças entre os sistemas convencionais e o plantio direto, estão na mobilização física do solo por ocasião do preparo e no manejo dos restos culturais, a distribuição de nutrientes no perfil do solo é resultado do efeito conjugado da lixiviação e do modo de aplicação do adubo e de seu grau de mistura com o solo.

Combinações de métodos de preparo do solo e modos de adubação, resultam em uma variedade de camadas fertilizadas de solo, com concentrações diferenciadas de nutrientes; o plantio direto favorece o acúmulo de nutrientes, tais como cálcio, magnésio, potássio e fósforo na camada superficial (0-5 cm), aumentam a capacidade de troca catiônica, o carbono orgânico e o nitrogênio total, podendo haver redução da saturação por alumínio trocável, observáveis a partir de um período de 4 a 5 anos do estabelecimento desse sistema, permanecendo ali pelo não revolvimento do solo e influenciando as culturas em sucessão (MUZILLI, 1983,1985; SIDIRAS e PAVAN, 1985).

PEIXOTO e ELTZ (1988), em um levantamento de fertilidade do solo, em áreas cultivadas sob plantio direto, na região dos Campos Gerais, verificaram, com uma amostragem

estratificada do perfil, um gradiente acentuado na concentração de nutrientes, que diminuía da superfície do solo até a profundidade de 10 cm.

MUZILLI (1983), estudando, em um Latossolo Roxo, os efeitos do plantio direto e convencional na distribuição e acúmulo da matéria orgânica, após 4 anos de cultivo, encontrou no plantio direto, teores superiores de matéria orgânica na camada superficial e não detectou diferença nas camadas inferiores. Em outro estudo, após 3 anos de plantio direto, constatou-se acúmulos de cálcio, magnésio, potássio e fósforo extraível, nas camadas superficiais em comparação ao plantio convencional, sendo que o fósforo apresentou, em comparação aos demais nutrientes, os maiores índices, sendo até 7 vezes superior aos encontrados no plantio convencional.

ANGHINONI e SALET (1995), constataram que, no plantio direto, o fósforo é o nutriente que forma o gradiente mais acentuado a partir da superfície do solo, outros nutrientes catiônicos (cálcio, magnésio e potássio) também formam gradientes porém proporcionalmente menores; destes, o cálcio é o que forma o maior gradiente, seguido pelo magnésio e este pelo potássio; este comportamento está relacionado às suas afinidades com os sítios de adsorção do solo; também valores de pH mais altos provocam a elevação da CTC sob plantio direto (DERPSCH et al., 1991).

Segundo DERPSCH et al. (1991), no plantio direto uma menor quantidade de fósforo é fixada no solo sob forma de fosfatos de ferro e alumínio insolúveis, porque o adubo não é misturado com o solo e também devido a baixa mobilidade do íon fosfato, o seu deslocamento para camadas mais profundas é pouco provável.

SIDIRAS e PAVAN (1985), verificaram a manutenção ou aumento do pH e dos teores de fósforo extraível, cálcio, magnésio e potássio trocável, na camada superficial (0-10 cm),

após 4 anos sob plantio direto ou sob pastagem permanente, em comparação com os níveis encontrados no plantio convencional.

No plantio convencional, com o revolvimento do solo, ocorre a formação de uma camada arável diferenciada, resultante da ação dos implementos agrícolas e da mistura de adubos e corretivos, homogeneizando-se a distribuição dos nutrientes, esta camada apresenta espessura variável (15-20 cm), de acordo com a profundidade de operação dos implementos. Assim sendo, dependendo dos tipos de preparo e manejo utilizados, poderão ocorrer distintas modificações nas características químicas do solo e conseqüentemente no desenvolvimento do sistema radicular, com reflexo no rendimento das culturas. A cobertura vegetal atua, ainda, de maneira indireta, sobre a atividade biológica dos solos e, conseqüentemente, sobre o processo de decomposição da matéria orgânica, através de sua ação diferencial sobre as características desses solos, como: temperatura, umidade, aeração, pH e disponibilidade de nutrientes (ELTZ et al., 1989).

Os solos altamente intemperizados se caracterizam por apresentarem um alto teor de alumínio trocável, a toxidez deste elemento é apontada como um dos principais fatores limitantes às culturas (BEAR, 1967).

Quando a planta é o *Pinus sp.* o problema de toxicidade de alumínio parece não ser limitante ao seu desenvolvimento, os níveis críticos de cálcio e magnésio no solo para mudas de *Pinus sp.* são substancialmente mais baixos aos da maioria das plantas cultivadas, a boa adaptação do pinus em condições álicas de solo, lhe confere uma pequena demanda de cálcio, magnésio e alta tolerância ao alumínio trocável (BARROS e NOVAIS, 1990).

REISSMANN et al. (1987), estudando o desenvolvimento de *Araucária angustifolia* e *Pinus sp.* sobre solos derivados do Grupo Itararé no segundo planalto paranaense, encontraram, nos índices foliares, diferenças pronunciadas entre as duas espécies, sendo que:

os teores de alumínio trocável foram mais elevados no *Pinus sp.*, enquanto que os teores de bases foram mais elevados na *Araucaria angustifolia*.

O efeito das espécies florestais no solo é mais notado pela ciclagem de nutrientes, o que explica o crescimento de vegetação exuberante sobre solos pobres, neste caso, os nutrientes são reciclados, principalmente através da queda das folhas e outras partes das plantas, e levados ao alcance das raízes, sendo reabsorvidos para formar um ciclo fechado (ALVARENGA, 1996).

A liberação de nutrientes dos resíduos culturais via mineralização é um processo básico para a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema, a qualidade do substrato, atividade biológica e condições ambientais regulam as taxas de decomposição dos resíduos e, por conseguinte, de liberação de nutrientes para a solução do solo. Resíduos com elevados teores de lignina e compostos aromáticos são de difícil decomposição, ao passo que aqueles com elevados teores de carboidratos solúveis são facilmente decompostos, a concentração de lignina no resíduo é uma das características químicas mais influentes na decomposição, dada a natureza recalcitrante desta substância (ZEIKUS, 1981).

As acículas de *Pinus sp.* possuem superfície hidrofóbica e pequena área específica, o que dificulta a sua absorção de água, fazendo com que sua decomposição ocorra mais lentamente (HEAL, 1979).

Nas áreas reflorestadas com *Pinus sp.*, as modificações têm sido visualizadas pelo acúmulo de matéria orgânica não decomposta sobre o solo, e a conseqüente formação de horizontes (ou camadas) orgânicos que se constituem em uma importante reserva de nutrientes, importância que é facilmente reconhecida em função do elevado número de raízes que integram estes horizontes (TREVISAN et al., 1987).

Na região sul do Paraná, em áreas reflorestadas com *Pinus sp*, o acúmulo de resíduos é grande, podendo originar horizontes orgânicos com espessuras de até 13 cm; esse acúmulo de material orgânico e a velocidade de decomposição vai depender das características químicas do solo (REISSMAN, 1983).

Vários estudos comparativos entre o cultivo de pinus e mata nativa, mostraram que o pinus apresentou na camada superficial (0-20 cm) teores mais elevados de alumínio trocável e menores valores de pH, decréscimo nos teores de matéria orgânica e bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio), (TOSIN, 1977; LEPSCH, 1980; PAULA SOUZA, 1976), com relação ao elemento fósforo, os trabalhos mostraram que os teores são bastante indefinidos e dependentes do tipo de solo, cobertura vegetal e profundidade.

PAULA SOUZA (1976) comparando áreas de *Pinus sp* e campo nativo, verificou diminuição do teor de cálcio e elevação no teor de potássio nos primeiros 20 cm da área com pinus, no entanto, em profundidade o solo sob campo apresentou maior teor deste elemento.

DAROS (1982) estudando as alterações químicas provocadas após 12 anos de reflorestamento com pinus em comparação ao campo nativo, concluiu que o pinus promoveu a acidificação do solo e diminuiu os teores de cálcio e magnésio nos primeiros 20 cm do solo.

LEPSCH (1980) encontrou valores significativamente menores de cálcio e magnésio na camada de 0-20 cm sob pinus em relação a área adjacente de cerrado.

Uma das mais importantes propriedades de micorrizas em essências florestais é a sua habilidade de absorver mais fósforo do que o equivalente por raízes não infectadas, podendo absorver até nove vezes mais fósforo (BARROS e NOVAIS, 1990).

LOPES et al.(1983), concluíram que o cultivo das pináceas, como qualquer outra cultura agrícola acarreta a acidificação do solo, visto que a retirada constante de bases do solo,

provoca o abaixamento do pH, devido ao aumento da acidez potencial e a liberação do alumínio trocável.

LIMA e LIMA (1995) comparando o conteúdo de carbono em áreas sob plantio direto, convencional e cultivo mínimo, tomando o campo natural como referencial, não encontraram diferenças estatísticas significativas entre os métodos de preparo. Contudo, em relação ao ecossistema natural de campo, o cultivo provocou redução nos níveis de carbono da ordem de 27%, 29% e 22% para o plantio direto, cultivo mínimo e convencional, respectivamente.

LIMA e LIMA (1995) estudando o efeito da substituição da vegetação original de campo por florestamento de pinus no conteúdo e dinâmica da matéria orgânica do solo em alguns municípios da região centro-leste e sul-sudeste do Paraná, constataram a tendência das áreas florestadas apresentarem aumentos nos conteúdos de carbono.

2.3 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

Os minerais presentes no solo são indicadores do grau de seu intemperismo, a presença ou ausência de determinados minerais fornece indicações de como o solo foi formado, ou seja, a mineralogia reflete a composição do material de origem e o grau de evolução do solo (MONIZ, 1972).

Os minerais secundários, os quais resultam da decomposição dos minerais primários, são de tamanho pequeno e são caracterizados como argilominerais e óxidos, como exemplo, podem ser citados: caulinita, montmorilonita, clorita, illita, óxidos de ferro e gibbsita (óxidos de alumínio).

O intemperismo dos minerais pode ser explicado pelo processo de dessilicatização, que, sob condições de intensa lixiviação, ocorre a caulinitização, somente permitindo a formação de minerais 1:1; em condições de lixiviação mais forte, ocorre uma dessilicatização muito forte, havendo a formação de gibbsita (MONIZ, 1972).

A mineralogia do solo se constitui num dos fatores que influi diretamente na fertilidade do solo, sendo o seu conhecimento importante para a interpretação de parâmetros como: retenção de umidade, superfície específica e adsorção de nutrientes (CRESSER et al., 1993).

As relações entre a mineralogia das frações (areia, silte e argila) com a reserva de nutrientes para as plantas são complexas. A fração argila difere muito mineralogicamente do silte, por ser este predominantemente composto de minerais primários resultantes do processo de intemperização física (VIEIRA, 1975).

A fração argila se constitui a fração ativa do solo, participando praticamente de todas as reações físico-químicas que ocorrem no mesmo, esta fração pode ser composta por vários minerais (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987).

As argilas absorvem grande quantidade de água, ocasionando aumento de volume, o qual é reduzido ao tamanho original pela desidratação, fenômeno este que varia de intensidade de acordo com o tipo de argila, havendo uma diminuição da montmorilonita para a caulinita (VIEIRA, 1975).

Os óxidos de alumínio e de ferro, notadamente gibbsita, hematita e goetita, tendem a desorganizar as partículas do solo ao nível microscópico, logo, ao maior teor destes constituintes, ocorrerá um maior grau de desorganização e, conseqüentemente, uma estrutura mais granular (RESENDE, 1982).

Com a caracterização mineralógica, é possível avaliar a reserva mineral e a tendência de comportamento físico-químico dos solos, os minerais primários indicam o potencial do solo em repor os nutrientes para a solução do solo a longo prazo; os minerais secundários na fração argila, por meio das cargas eletrostáticas de superfície, governam as reações de troca e de fixação de nutrientes (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987).

REISSMANN et al., (1987), estudando solos derivados do “grupo Itararé”, observaram a influência do material de origem nas características físicas e químicas do solo.

Em solos altamente intemperizados e quando os valores da CTC são inferiores a 50 mmol_c kg⁻¹ de argila, a sua mineralogia é, geralmente, constituída por caulinita, gibbsita e óxidos de ferro como a hematita e a goetita (GOEDERT et al., 1975; SANCHES, 1976).

A caulinita é o argilomineral de maior ocorrência nos solos, especialmente em climas quentes e úmidos. Isto se deve, em parte, dela originar-se de muitos minerais diferentes; muitos estudos, de diagramas de estabilidade de minerais, mostram que a tendência das reações de intemperismo é na direção da formação da caulinita em ambiente úmido (DIXON, 1989).

A Vermiculita com Hidroxi-Al entre camadas (VHE) tem ampla distribuição geográfica e é encontrada em várias ordens de solos (BARNHISEL e BERTSCH, 1989).

A VHE ocorre nos solos como produto de intemperismo da clorita ou mais comumente, da deposição de componentes de polímeros de hidroxila Al dentro dos espaços entrecamadas de silicatos expansíveis (esmectita e vermiculita) e não expansíveis (mica).

Na maioria dos solos ácidos, a VHE origina-se a partir do intemperismo da mica, apresentando estabilidade termodinâmica em solos ácidos (BARNHISEL e BERTSCH, 1989).

A VHE apresenta CTC mineral variável de acordo com o grau de preenchimento das entrecamadas com Al, quanto menor esse grau de preenchimento entrecamadas com Al, maior é a CTC mineral e vice-versa (BARNHISEL e BERTSCH, 1989)

A gibbsita é um dos principais minerais em muitos Oxisolos (Lateritas e Latossolos), os quais geralmente ocorrem em regiões tropicais e subtropicais úmidas; a gibbsita ocorre freqüentemente em solos velhos de avançado intemperismo (HSU, 1989).

A gibbsita com elevada cristalinidade é identificada sem dificuldade com técnicas de difração por raio-X (DRX), no entanto, a técnica da DRX mostra baixa sensibilidade quando a gibbsita apresenta teores menores que 50 g/kg (HSU, 1989).

Os minerais do solo são constituintes bastante importantes sob o aspecto de sua agregação, sendo a caulinita, gibbsita, hematita e goetita, em diferentes proporções, os principais componentes da fração argila dos latossolos brasileiros (RESENDE, 1982).

MONIZ et al. (1972), estudando um Latossolo Vermelho-Amarelo, formação "Itararé", encontrou a caulinita como seu principal componente, acompanhada secundariamente por gibbsita e vermiculita com hidróxi-Al nas entrecamadas, ou por ilita e vermiculita com hidróxi-Al nas entrecamadas.

Segundo constatação feita para estes solos, os componentes dominantes na composição mineralógica das argilas são: caulinita, goetita, gibbsita e, ocasionalmente, o quartzo (EMBRAPA, 1984).

LIMA e LIMA (1987), estudando a composição mineralógica de solos derivados de arenito, formação Itararé, concluíram que a fração argila é constituída por caulinita, mica, vermiculita com hidróxi-Al nas entrecamadas e gibbsita; as frações areia e silte caracterizam-se pela presença de quartzo, mica e feldspato. A mica é alterada para vermiculita com hidroxila interlaminar enquanto que a caulinita e gibbsita resultam da alteração do feldspato.

Na caulinita, praticamente inexistente substituição isomórfica, sendo que as cargas negativas formam-se nas bordas dos minerais, não apresenta expansividade e sua capacidade de troca catiônica é baixa (1 a 10 cmol/dm³), solos com esse tipo de mineral não apresentam fixação de potássio (POTTKER, 1995).

LASO (1990) estudando a mineralogia de solos derivados do arenito, concluiu que os solos, onde predomina a fração areia, apresentam menores valores de acidez trocável e CTC, bem como, menor conteúdo de carbono, fósforo, magnésio, potássio e alumínio, em comparação aos solos com maior teor de argila derivados de diabásio, sendo o crescimento de pinus menor sobre o arenito.

Por outro lado, SANTOS (1983) observou em solos derivados do arenito, avançado estágio de intemperismo, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argila, baixos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis, indicando a baixa capacidade de reposição do solo, evidenciando a pobreza do material de origem em relação a esses nutrientes.

2.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

A morfologia do solo é dependente dos fatores de formação do solo que determinam os processos pedogenéticos que atuaram na sua formação e é importante para a caracterização do solo, para fins de classificação taxonômica, pois poderá fornecer elementos para deduções de importância agrícola, tais como: teor de carbono orgânico, retenção de água, grau de permeabilidade, compactação, suscetibilidade à erosão.

As propriedades morfológicas são mais facilmente identificáveis e prontamente perceptíveis, resultando pois da aparência deste solo, obtidas através das descrições de perfis efetuadas no campo, (LEPSCH, 1972).

As propriedades dos solos, dependem da sua textura, a qual é resultante do material de origem e do grau de intemperismo do solo, sendo de suma importância nos estudos de gênese, morfologia e classificação dos solos.

A cor é considerada como uma das propriedades morfológicas de mais fácil determinação, sendo a matéria orgânica e compostos de ferro os principais responsáveis pela coloração do solo, permitindo uma boa caracterização do solo; a cor permite avaliar características importantes como: conteúdo de matéria orgânica, drenagem, conteúdo de sesquióxidos de ferro (LEPSCH, 1972).

As condições ambientais podem se refletir na cor do solo devido ao tipo de óxido de ferro dominante, a proporção de goetita para hematita é governada por vários fatores, entre os quais a temperatura do solo, atividade da água no solo, matéria orgânica, pH e alumínio são os mais importantes (RIZZO, 1991).

Existe uma correlação entre a coloração e a constituição do material integrante do perfil, assim sendo, a matéria orgânica está relacionada com colorações escuras até preto,

cores vermelhas são usualmente devido à presença de hematita, cores amarelas se relacionam com a goetita, colorações esbranquiçadas se relacionam com constituintes diversos (quartzo e carbonato de cálcio) e cores cinzentas indicam uma condição de redução (OLIVEIRA et al, 1992).

Por outro lado, segundo RESENDE et al (1995), os Latossolos, ricos em óxidos, tendem a ter colorações que não refletem o seu conteúdo em matéria orgânica, devido a hematita que possui um poder pigmentante muito forte.

No plantio direto, a deposição de resíduos na superfície, tende a diminuir o aquecimento do solo, mantendo-o mais úmido e ocasionando uma elevação nos teores de matéria orgânica na camada superficial, refletindo em uma coloração mais escura nesta camada (SALTON e MIELCNECZUK, 1995).

Para o caso de solos sob ecossistemas florestais, a ocorrência de diferentes horizontes orgânicos é resultante da decomposição das acículas e oferece um dos caracteres morfológicos altamente distinguíveis entre o solo agrícola e o florestal (REISSMANN, 1983).

A espessura do horizonte A, bem como a profundidade do solo, associadas a uma porosidade total favorável e macro e microporosidade bem distribuídas, permitem uma melhor retenção de água e suprimento de ar, além disso, uma boa estrutura e consistência friável favorecem o ambiente para o crescimento radicular (GOLFARI e BARRET, 1977).

Nas áreas onde o preparo do solo efetuado é o plantio convencional, pode ocorrer a diminuição da espessura do horizonte superficial, devido à erosão laminar, a maior oxidação da matéria orgânica, ocasionando a formação de um horizonte modificado (Ap).

A profundidade de enraizamento afeta o desenvolvimento das plantas, sendo que QUINTEROS (1987), observou, no segundo planalto paranaense, que o *Pinus taeda* L.

apresentou crescimento significativamente menor em solos litólicos do que em solos profundos.

KAHIL (1986), estudando dois perfis, sob campo nativo e sob pinus, observou que, nos dois perfis, ocorreu uma concentração de raízes na camada superficial (0-2,5 cm), porém, a quantidade de raízes foi maior em todo o perfil sob pinus, em relação ao campo nativo.

2.5 CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS

A utilização de métodos micromorfológicos na investigação da influencia do cultivo sobre as propriedades dos solos está se tornando cada vez mais freqüente devido fundamentalmente à possibilidade de estudá-lo em sua condição natural, isto é, com a estrutura preservada que é o grande trunfo dessa técnica. As maiores contribuições têm se dado na pesquisa da estrutura em condições naturais e nas mudanças ocorridas em diferentes sistemas de manejo (LIMA e LIMA, 1995).

De uma maneira geral por ocasião do cultivo ocorre alteração da pedalidade e rearranjo espacial das partículas contribuindo para decréscimo da porosidade total, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade (LAWS e EVANS, 1949; BOUMA e HOLE, 1971; JONGERIUS, 1982; COLLINS e LARNEY, 1987).

RESENDE et al. (1995), definiu o plasma como sendo todo o material coloidal que não está retido em grãos do esqueleto, consistindo de material mineral e orgânico que tenha sido movimentado ou concentrado pelos processos de formação do solo; trama é definida como a expressão física dada pelo arranjo espacial das partículas sólidas do solo e os poros a elas associadas (plasma + grãos do esqueleto + poros).

As alterações que ocorrem são consequência de distúrbios induzidos por implementos agrícolas através da ruptura dos agregados que adquirem tamanhos e formas irregulares e se apresentam mais empacotados (RUSSELL, 1973 e HADAS et al. 1978).

Assim as diversas operações de preparo do solo promovem estados estruturais diferenciados (CURMI, 1988).

A nova organização resulta em alterações da trama do solo e consequentemente na morfologia dos poros. Normalmente a trama dos solos cultivados parece refletir um

empilhamento das unidades estruturais de 150 a 200 μm e, às vezes, certa unificação em unidades maiores originando tramas de aparência mais densas que as originais (RUSSELL, 1973 e JONGERIUS, 1982).

Geralmente as tramas grânica e granóidica, que ocorrem nos horizontes superficiais dos solos sob mata, se alteram com o cultivo para porfírica ou frágmica (BREWER e PAWLUK, 1975; JONGERIUS, 1982; KOOISTRA et al, 1990). Essas tramas por sua vez são novamente modificadas pela aração e gradagem resultando em reorganizações grânicas e granóidicas porém diferentes das originais quanto ao tamanho, forma e arranjo dos agregados (BULLOCK et al. 1985).

Em um solo cultivado por cinquenta anos, PAWLUK (1980) verificou que as práticas de manejo foram responsáveis pela grande variação no tamanho dos agregados. Os torrões, as crostas e os grânulos foram freqüentes e responsáveis pela composição da seqüência grânica-granóidica-porfírica na superfície, acompanhada por decréscimo da porosidade a curtas distâncias, e por frágmica-fragmóidica-porfírica em subsuperfície, expressando o empacotamento mais denso das unidades e refletindo condições de compactação. Constatações semelhantes foram observadas por MARTIN (1987) em solo cultivado por 49 anos. A trama grânica e granóidica limitou-se aos 5 cm superficiais como resultado da ação do sistema radicular; abaixo dessa profundidade predominou a trama porfírica densa com cavidades e fragmóidica devido a coalescência dos agregados.

BLANK e FOSBERG (1989) examinando os efeitos do cultivo nas características micromorfológicas, observaram mudanças da trama somente na camada superficial. A trama granóidica-porfírica substituiu a grânica originalmente predominante, refletindo em redução na macro e microporosidade.

A modificação da trama com o cultivo reflete diretamente na morfologia dos poros. Poros do tipo fendas e cavidades, de diversos tamanhos, geralmente substituem os poros de empilhamento compostos, responsáveis pela elevada macroporosidade das áreas de vegetação natural.

BLANK e FOSBERG(1989), constataram que a intensidade de cultivo aumentou os poros do tipo fendas e cavidades que se tornaram mais irregulares implicando provavelmente em prejuízos ao desenvolvimento radicular.

Em estudos de áreas compactadas, BULLOCK et al. (1985), observaram que os poros de empilhamento e bioporos foram substituídos por fendas ($>60\mu\text{m}$) em situação mais ou menos paralela à superfície, contribuindo para o aparecimento de uma estrutura laminar. Os poros com dimensões inferiores a 6 mm não foram afetados.

McKEAGUE et al. (1987) e BLANK e FOSBERG(1989) também constataram essas mudanças onde a predominância de poros do tipo fendas ($<40\mu\text{m}$) e cavidades ($<500\mu\text{m}$) na camada de 0 a 30 cm, refletiu em condição apédica e efêmera distribuição de raízes.

Entretanto, BLANK e FOSBERG(1989) observou somente poros do tipo fendas na camada de 0 a 6 cm de um solo cultivado. Isso foi atribuído ao efeito do cultivador que contribui para o surgimento de material extremamente fino, o qual é compactado pelo impacto da chuva. Associado a esse fato há de se considerar a textura muito argilosa o que, de acordo com CHEN et al. (1980), facilita a orientação da fração argila e formação de crostas superficiais.

ESWARAN (1979), constatou que alguns horizontes B latossólicos, principalmente aqueles extremamente intemperizados, exibem características típicas, como a natureza da matriz, pseudo nódulos e acumulações de gibbsita e de ferro.

O cultivo de um Oxissol de textura muito argilosa por 6 e 12 anos resultou na formação de camadas com estrutura laminar na superfície com muitas vesículas. A evidência de erosão foi detectada pela presença de camadas de 6 cm constituídas de material grosseiro (areia e cascalho) fortemente empilhados e ausência de material fino (plasma). A atividade biológica decresceu, principalmente as espécies capazes de produzir canais de grandes dimensões. Essas condições refletiram na diminuição da infiltração e do crescimento radicular (KOOISTRA et al. 1990).

Para BRESSON e ZAMBAUX (1990), embora o cultivo tenha provocado decréscimo da macroporosidade a maior parte dos canais de minhocas resistiu à compactação assim como os microagregados embora a trama tenha se tornado mais densa.

Além do volume e geometria dos poros a continuidade também é alterada afetando o fluxo de água em profundidade (BOUMA et al. 1977; 1982; 1991).

A menor efetividade no movimento da água de um solo cultivado por sete anos foi traduzida não só pela interrupção da continuidade dos poros provocada pela aração, como também pela tortuosidade de suas paredes, principalmente no horizonte superficial, uma vez que definem o fluxo de água. No solo onde a mobilização foi mínima as condições foram opostas (FRANCIS et al., 1988 e SHIPITALO e PROST, 1987).

Vários trabalhos tem enfatizado o aumento da porosidade com o cultivo. Geralmente os poros do tipo cavidades intercomunicantes e aplainados que comumente contribuem para aumentar a porosidade dos solos cultivados, estão relacionados não somente com o tipo de manejo como também com a variabilidade do solo. Esse aumento provavelmente favorece a infiltração da água e aeração do solo (BULLOCK et al. 1985).

ACQUAYE et al. (1992) constataram aumento da porosidade e conseqüentemente da infiltração de água após o cultivo de um solo de textura argilosa. Os poros aplainados e

cavidades intercomunicantes de diversos tamanhos e direções foram freqüentes principalmente em subsuperfície. Esse aumento pode ser atribuído, de acordo com BREWER (1976), ao incremento de cálcio em profundidade e aos ciclos de umedecimento e secagem.

Em trabalho semelhante desenvolvido por MERMUTH et al. (1992), os poros aplainados (>50mm) tiveram ocorrência diversificada em diferentes profundidades devido à variabilidade espacial do solo que propriamente ao efeito dos diferentes tipos de preparo.

Associado à textura argilosa, NORTON e SCHROEDER (1987), consideraram a introdução de resíduos orgânicos e observaram que nos cinco primeiros anos a porosidade decresceu consideravelmente. De cinco a nove anos aumentou rapidamente estabilizando-se após esse período. O acréscimo da porosidade foi resultante provavelmente da atividade biológica que se tornou mais efetiva após um estágio inicial de consolidação.

Considerando a natureza dinâmica da porosidade, têm-se sugerido amostragens mais freqüentes e por períodos mais longos para sua avaliação (MERMUTH et al. 1992).

O uso de fertilizantes também tem efeito nas características micromorfológicas. O emprego da calagem associada com adubação orgânica por vinte e cinco anos melhorou consideravelmente a estrutura de um solo de textura arenosa favorecendo mudanças na trama e conseqüente aumento na microporosidade (FITZPATRICK, 1984).

Observações semelhantes foram feitas por DUTARTRE et al. (1993), em que a adição de fertilizante orgânico favoreceu a cimentação do esqueleto em unidades estruturais originando localmente a trama porfírica.

Em um solo de textura argilosa a adição de uréia, amônia e nitrato de cálcio causaram coalescência das unidades estruturais alterando a trama grânica para granóidica e no solo em que ocorreu maior adição de uréia e nitrato de cálcio a trama frágmica e porfírica predominaram (BENEMA et al. 1970).

Considerando as alterações do solo motivadas pelo cultivo sob o ponto de vista micromorfológico cabe ressaltar que o exame e interpretação das observações numa escala micro deverão sempre serem acompanhados por observações e descrições detalhadas de campo do perfil do solo (CURI et al. 1985).

LIMA e LIMA (1995), estudando o efeito do plantio direto nas características micromorfológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, região dos Campos Gerais, observaram que houve alteração na trama (tamanho, forma e arranjo das partículas e poros), tipo e quantidade de poros até a profundidade de 14 cm. Constataram, ainda, que a grama grânica e granóidica, encontradas na porção superficial em condições naturais, alteraram-se para porfírica densa com cavidades em plantio direto com 8 anos e para granóidica-porfírica com cavidades intercomunicantes na área de plantio direto com 14 anos, refletindo na menor pedalidade e menor porosidade, assim como maior densidade do solo no plantio direto mais recente em relação ao mais antigo.

Em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob plantio direto por 18 anos LIMA & LIMA (1995) observaram a reorganização dos constituintes do solo em função da época de amostragem (inverno ou verão) condicionando a presença de diferentes tipos de trama. No verão os constituintes organizaram-se em unidades discretas originando tramas grânica e granóidica enquanto que no inverno predominou trama mais densa do tipo porfírica.

3.0 MEIO FÍSICO

3.1 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

O presente trabalho foi conduzido numa propriedade, denominada de Capão das Antas, situada no segundo planalto paranaense, região dos Campos Gerais, município de Palmeira, a 1000 metros de altitude, 25° S latitude, 50° OW longitude.

3.2 GEOLOGIA

Nesta região, a geologia é formada por materiais da era paleozóica, do período permiano, a litologia apresenta rochas sedimentares do grupo "Itararé", formação Campo do Tenente e do período carbonífero, que por sua vez deram origem a rochas do tipo arenito, siltito, argilito e folhelhos (Paraná, 1.986).

A constituição litológica do grupo "Itararé" é formada por diamictitos, arenitos de coloração e granulometria variadas, arcósios, arenitos feldspáticos, folhelhos, siltitos, ritmitos e conglomerados (PETRI et al., 1983).

3.3 SOLO

O solo das áreas estudadas foi enquadrado como Cambissolo Ta álico/distrófico com horizonte A proeminente, textura média e argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado substrato rochas sedimentares de natureza arenosa.

São solos com capacidade de troca catiônica superior a 13 e.mg/100 gramas de argila com correção para carbono, pequena diferenciação entre os horizontes e com baixo gradiente textural, apresentando teores de silte mais elevados em comparação aos latossolos, sem problemas de drenagem e, por serem oriundos de arenitos, apresentam altos teores de areia, possuem boa porosidade, mas são sensíveis à erosão.

3.4 VEGETAÇÃO

Segundo MAACK (1968), campos semi alpinos, com grande diversidade de gramíneas e poucas leguminosas, as pastagens são de pouco valor nutritivo com baixo teor de proteína, pouca concentração de minerais e suportam pequenas lotações, constituída principalmente por campos limpos caracterizados por extensas áreas de gramíneas baixas desprovidas de arbustos, assinalando-se as espécies de *Andropogon sp*, *Aristida sp*, *Paspalum sp*, *Panicum sp*, *Eragrostis sp*,.

Associadas às gramíneas, ocorrem ervas e arbustos, com grossos rizomas subterrâneos ou bulbos resistentes às queimadas anuais e às geadas, apresentam freqüente caráter xerofítico em virtude da presença de pelos nos galhos e folhas carnosas e coriáceas.

A delimitação nítida entre campo e mata chama a atenção, os capões desenvolvem-se em depressões mais úmidas, ao redor das nascentes, conquistando lentamente os declives das depressões das mesmas sob condições climáticas favoráveis, expandindo-se paulatinamente até se unirem com outros capões, constituídos por Pinheiros (*Araucaria angustifolia*), associados com Lauráceas ou Canelas (*Nectandra mollis*), Imbuia (*Ocotea porosa*), Cedro (*Cedrella sp*), entre outras espécies, formando as pseudo matas de galeria.

Outra aspecto muito característico é a ocorrência de Araucárias isoladas no campo aberto defronte aos capões, embora de um modo geral os campos exibam um caráter subxerofítico (queimadas são constantes entre junho e setembro), encontram-se áreas pantanosas em declives e depressões (MAACK, 1968).

3.5 CLIMA

A média anual da temperatura é 17,6 °C, máxima de 35,5° e mínima de -4,8 °C, precipitação média anual é 1.442,8 mm, segundo a classificação de Koppen, clima sub tropical úmido de altitude, sem estação seca e com geadas severas freqüentes, a temperatura média do mês mais frio é menor que 18 °C e a do mês mais quente é menor que 22 °C.

3.6 USO ATUAL DA TERRA

Tradicionalmente, a região era caracterizada pela pecuária extensiva, devido à vegetação natural ser constituída principalmente de campos nativos, gramíneas perenes resistentes ao fogo (*aristida sp*, *axonopus sp*, *bacharis sp*, etc), com baixa capacidade de suporte (0,5 cabeça/ha), caracterizada pela baixa fertilidade natural e pela retirada contínua dos nutrientes do solo.

Nesses solos os problemas principais são a presença de alumínio e manganês (acidez nociva do solo) e baixos níveis de fósforo, cálcio, magnésio e potássio disponíveis para as plantas.

Porém, nas três últimas décadas, houve uma mudança acentuada no regime de exploração do solo, inicialmente com o preparo completo do solo (aração e gradagem),

incorporação de calcário, semeadura e aplicação de adubos localizados, e posteriormente, nos últimos 15 anos, o advento do plantio direto que se caracteriza pelo não revolvimento do solo.

No município de Palmeira, aproximadamente 21.32% da área total do município se encontrava sob lavouras temporárias e 24.4% sob pasto nativo (FIBGE, 1985).

Nesta região, o preparo do solo, para o plantio de lavouras de milho e soja, tem início em agosto e prossegue até dezembro, sendo neste período que os solos apresentam maior risco de erosão, em função da baixa cobertura do solo, aliado com o potencial erosivo das chuvas que apresenta uma tendência crescente no período de agosto a dezembro, isto significa que o risco de erosão aumenta para aquelas áreas onde são realizados os preparos e plantios em períodos próximos a dezembro.

Com a exploração mais intensiva, o solo passa a sofrer alterações na sua constituição química, física, biológica, morfológica; exemplo disso são: a destruição da cobertura natural, a desagregação da camada superficial nos processos de aração e gradagem, a queima dos restos culturais, exportação pelas colheitas e o selamento da superfície pelas gotas das chuvas contra o solo desnudo; a força erosiva da enxurrada sobre a superfície; à movimentação de máquinas que pode provocar dentre outras coisas: o adensamento e compactação do solo, rebaixamento do perfil, alterações na estrutura e destruição da matéria orgânica.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MÉTODOS DE CAMPO

Selecionaram-se áreas com diferentes usos, adjacentes e com mesma posição topográfica, cujas condições pedológicas fossem similares. As áreas escolhidas estavam sob as seguintes condições de uso: plantio direto, plantio convencional, pastagem e florestamento.

A área de plantio direto está sendo utilizada desde 1987 (10 anos), com arroz no primeiro ano e preparo convencional; sendo a partir do segundo ano a rotação soja-milho sob plantio direto, o qual consiste na mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura, mantendo os resíduos das culturas na superfície do solo. A calagem foi de 5.000 Kg/ha, aplicada a lanço sem incorporação. A semeadura, controle de infestantes e os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para cada cultura.

A área de pastagem é formada por campo nativo, com cobertura vegetal bastante heterogênea, baixa capacidade de suporte e, constituída principalmente de *Axonopus sp.*, *Bacharis sp.*, *Eragrotis sp.*, *Aristida sp.*, *Panicum sp.*, etc; utilizada em regime de pastejo extensivo sem o uso de adubo.

A área de plantio convencional tem 1 ano de utilização, o preparo do solo utilizado foi o preparo convencional, (uma aração e duas gradagens), seguido do plantio de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.), com 300 kg/ha de adubo 05-20-20, sem aplicação de calcário.

A área de florestamento com pinus, com 12 anos de idade e 2 desbastes realizados em espaçamento 2,5 x 2,5 m., sem utilização de adubo. Anteriormente esta área também foi ocupada por florestamento de pinus com 18 anos de idade; assim sendo, esta área se encontra com pinus há 30 anos.

A área de pastagem está situada ao lado da área de plantio direto, sendo separadas por uma estrada; a área de plantio convencional situada a 870 m da área de pastagem e a área de florestamento situada a 2300 m da área de plantio convencional e a 3170 m da pastagem e do plantio direto.

4.1.1 ANÁLISES FÍSICAS

As amostras foram coletadas em 6 profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60 cm), com 5 repetições e 4 tratamentos, totalizando 120 amostras para determinação da granulometria, densidade do solo, densidade da partícula e porosidade total.

4.1.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Nas áreas em estudo, percorreu-se à área em zig-zag, coletando-se 15 amostras simples/amostra composta, na parcela do plantio direto, as amostras foram coletadas de par em par, sendo a 1ª amostra simples coletada ao acaso e a 2ª amostra simples a uma distância equivalente à metade do espaçamento usado na cultura anterior, distância esta perpendicular a linha de plantio, segundo WESTFALL et al.(1991), evitando-se coletar amostra sobre a linha de plantio.

As amostras foram coletadas em 6 profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60 cm), com 5 repetições e 4 tratamentos, totalizando 120 amostras compostas.

4.1.3 ANÁLISE MINERALÓGICA

O material foi coletado na profundidade de 40-60 cm, juntamente com a coleta para as análises de fertilidade, essa profundidade coincide com parte do horizonte Bi.

4.1.4 ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA

A coleta de amostras foi realizada em trincheiras, com dimensões de 1,5 x 1,0 x 1,0 m; foram coletados blocos de solo indeformados de 20 x 15 x 15 cm, em todos os tratamentos, com 2 repetições por tratamentos nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, totalizando 32 amostras.

Todas as amostras indeformadas foram cuidadosamente transportadas para que não houvesse alteração dos constituintes do solo, marcando-se a verticalidade dos perfis.

4.1.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA

Foi realizada em trincheiras segundo as orientações da SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (LEMOS e SANTOS, 1989). Para determinação da cor usou-se a tabela de cores Munsell.

4.2 MÉTODOS DE LABORATÓRIO

4.2.1 ANÁLISES FÍSICAS

4.2.1.1 Análise granulométrica

A determinação das frações granulométricas foi efetuada após dispersão de 50 g de terra fina seca ao ar com NaOH 0,1 N e agitação em alta rotação por 15 minutos. A fração areia foi separada por tamizamento e a fração argila por sedimentação e leitura com densímetro de Bouyoucos. A fração silte foi calculada por diferença (EMBRAPA, 1979). A fração areia foi separada em duas sub-frações: areia grossa e areia fina.

4.2.1.2 Densidade do solo e densidade das partículas do solo

Realizadas segundo as recomendações de EMBRAPA (1979).

A densidade do solo foi obtida pelo método do anél volumétrico e empregando-se a seguinte fórmula:

$$D_s = M/V, \text{ sendo}$$

$$D_s = \text{Densidade do solo em g/cm}^3$$

$$M = \text{massa do solo em gramas}$$

$$V = \text{volume do solo (sólidos + poros) em cm}^3$$

A densidade das partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico, com a utilização da seguinte fórmula:

$D_p = M/V$, sendo

D_p = Densidade das partículas do solo em g/cm^3

M = Massa do solo em gramas

V = Volume do solo (sólidos) em cm^3

4.2.1.3 Porosidade total

Obtida pelo emprego da seguinte fórmula:

Porosidade total = $(D_p - D_s) \cdot 100 / D_p$, onde

D_p = Densidade das partículas do solo em g/cm^3

D_s = Densidade do solo em g/cm^3

4.2.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Realizadas segundo as recomendações de EMBRAPA (1979).

Carbono: obtido através da oxidação da matéria orgânica com Dicromato de Potássio 1 N, aquecido com ácido sulfúrico concentrado e titulado com Sulfato Ferroso 1 N, através do método Walkey Black.

pH: determinado em Cloreto de Cálcio 0,01 M (1:2,5)

Cálcio + magnésio trocáveis: extraídos por solução 1N de KCl na proporção de 10 ml de solo para 100 ml de extrator, agitando durante 5 minutos e deixando em repouso por 12 horas; uma alíquota de 25 ml é retirada, determinando-se em conjunto por titulação complexométrica, utilizando-se EDTA 0,025N e o Negro de Ericromo T como indicador.

Alumínio trocável: retirou-se, da mesma extração feita para o Ca + Mg, uma alíquota de 25 ml e titula-se com solução 0,025 N de NaOH, empregando-se como indicador o Azul de Bromotimol.

Hidrogênio + alumínio: usou-se como extrator o Acetato de Cálcio (pH 7), agitando-se e deixando em repouso, titulação foi realizada usando como indicador a Fenolftaleína 6%.

Potássio trocável: extraído com solução sulfoclorídrica (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N), na proporção de 10 ml de solo para 100 ml de extrator, agitou-se durante 5 minutos e deixou-se em repouso por 24 horas, pipetaram-se 25 ml da solução, fazendo-se a determinação por fotometria de chama.

Fósforo assimilável: pipetou-se uma alíquota de 5 ml da solução empregada para o potássio, acrescentou-se 10 ml de reativo sulfomolibdico, empregando-se como reator a frio o ácido L-ascórbico; após uma hora faz-se a determinação fotocolorimetricamente, através da formação de Azul de Molibdênio.

Bases trocáveis(Valor S): obtida pela soma dos teores de Ca, Mg e K extraíveis.

$$S = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$$

Capacidade de troca de cátions potencial (CTCp): calculada pela soma do valor S e dos teores de hidrogênio e alumínio extraíveis.

$$\text{CTCp} = \text{CTC a pH } 7,0 = S + H + \text{Al}$$

Saturação por bases (V%): calculado pela fórmula:

$$V \% = 100 \times S / \text{CTC}$$

Saturação por alumínio (m%): calculado pela fórmula:

$$m \% = 100 \times \text{Al} / \text{Al} + S$$

CTC mineral calculada:

$$\text{a) pela fórmula: } \text{CTCarg} = (\text{CTC} - \%C \times 4,5) \times 100 / \% \text{ argila}$$

b) pelo método do gráfico

CTC efetiva: pela soma do valor S e do teor de alumínio extraível.

$$CTCe = S + Al$$

CTC orgânica calculada:

$$CTCorg = (\%C \times 4,5)$$

4.2.3 ANÁLISE MINERALÓGICA

A fração argila foi analisada por difratometria de raios-X segundo a metodologia descrita por JACKSON (1969), citado por CAMARGO et al. (1986, p.43),

A fração argila foi obtida por sifonamento, recebendo os seguintes tratamentos:

- a) eliminação da matéria orgânica com H_2O_2 ;
- b) lavagem com $CH_3COONa \cdot 3H_2O$
- c) remoção dos óxidos de Fe com : $Na_2S_2O_4$, $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ e $NaHCO_3$.

A seguir, a fração argila deferrificada foi saturada com Mg e K e recebeu os seguintes tratamentos térmicos para a confecção das lâminas: Mg 25°C, Mg 25°C + glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C.

4.2.4 ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA

A análise micromorfológica foi efetuada em lâminas delgadas. As amostras indeformadas coletadas em campo foram impregnadas com resina poliéster T 208 utilizando-se como diluente o monômero de estireno e como catalisador o peróxido de metil-etil-cetona, na proporção de 70 ml de resina, 30 ml de diluente e 0,3 ml de catalisador, colocando os

reagentes nesta ordem e levando-os ao dessecador, estufa a 30⁰ C por 15 dias. Após endurecidas foram utilizadas na confecção das lâminas delgadas, verticalmente orientadas através de corte e polimento.

A descrição micromorfológica das lâminas foi feita em microscópio de polarização segundo CURI et al., (1985).

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística realizada foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas (SPLIT-SPLIT), através do teste de Tukey, as quais foram efetuadas utilizando o programa computacional MSTAT.

Foi utilizado o seguinte esquema experimental: 4 unidades diferentes de uso: plantio direto, pastagem, florestamento e plantio convencional.

Os manejos utilizados (parcela principal, 15x20 m), variaram quanto à intensidade de manejo do solo, em cada uma das unidades foram efetuadas 6 profundidades de coleta (sub-bloco), (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60 cm) para as análises químicas e físicas e 5 repetições com delineamento inteiramente casualizado.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para detectar se há diferença entre os tratamentos.

O nível de significância adotado é de 5%, o que implica num nível de confiança de 95%, desta forma, analisando-se o valor "p" das ANOVAS, conclui-se que determinado fator (área, profundidade e interação) é estatisticamente significativo se o valor "p" associado for menor do que 0,05.

Quando a interação não for significativa, os fatores serão analisados separadamente.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Os resultados da caracterização física das áreas estudadas são mostrados no quadro 1.

QUADRO 1- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Profundidade (cm)	Composição granulométrica (g/kg)					silte/ argila	Densidade do solo (g/cm³)	Densidade das partículas (g/cm³)	Porosidade Total (g/100g)
	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				
Perfil 1 (Plantio direto)									
00-05	492	144	636	144	220	0,65	1,44	2,61	45
05-10	500	140	640	148	212	0,70	1,43	2,62	45
10-15	508	152	660	124	216	0,57	1,46	2,63	45
15-20	500	140	640	136	224	0,61	1,40	2,65	47
20-40	496	136	632	128	240	0,53	1,50	2,62	43
40-60	488	156	644	124	232	0,53	1,43	2,65	46

Perfil 2 (Pastagem)									
00-05	280	96	376	216	408	0,53	1,61	2,58	38
05-10	280	96	376	216	408	0,53	1,43	2,58	45
10-15	292	96	388	188	424	0,44	1,38	2,62	47
15-20	276	96	372	196	432	0,45	1,43	2,64	46
20-40	280	100	380	188	432	0,43	1,61	2,64	39
40-60	280	104	384	172	444	0,39	1,46	2,66	45

Perfil 3 (Plantio convencional)									
00-05	428	160	588	220	192	1,15	1,50	2,59	42
05-10	436	172	608	200	192	1,04	1,36	2,59	47
10-15	432	164	596	220	184	1,20	1,26	2,57	51
15-20	436	156	592	216	192	1,12	1,32	2,62	50
20-40	432	172	604	188	208	0,90	1,39	2,63	47
40-60	404	180	584	204	212	0,96	1,41	2,66	47

Perfil 4 (florestamento)									
00-05	476	164	640	192	168	1,14	1,01	2,29	56
05-10	496	168	664	152	184	0,83	0,97	2,48	61
10-15	492	164	656	172	172	1,00	0,93	2,51	63
15-20	500	160	660	156	184	0,85	0,89	2,53	65
20-40	504	168	672	136	192	0,71	1,12	2,54	56
40-60	496	156	652	156	192	0,81	1,11	2,62	58

5.1.1 DENSIDADE DAS PARTÍCULAS

Não houve diferença significativa entre os tratamentos, à exceção do reflorestamento, o qual apresentou os menores valores de densidade das partículas em relação aos demais tratamentos.

As diferenças na densidade das partículas nos sistemas de uso e manejo foram pequenas e variaram de 2,3 a 2,67 g/cm³, resultados coerentes com a constituição mineralógica do solo em que predominam os minerais quartzo e caulinita (figura 1).

Todos os tratamentos estudados apresentaram uma tendência de aumento da densidade das partículas com a profundidade, sendo que esta variação foi mais acentuada no reflorestamento, onde houve diferença significativa nas camadas 20-40 cm e 40-60cm. Este aumento com a profundidade está relacionado com a diminuição dos teores de matéria orgânica ao longo do perfil.

5.1.2 DENSIDADE DO SOLO

Nas camadas de 0-5 e 20-40 cm, foram observadas diferenças estatísticas entre os valores da densidade do solo para a pastagem, os quais foram respectivamente 1,61 g/cm³, sendo superior aos demais tratamentos; nas camadas seguintes (5-10, 15-20 e 40-60 cm), não houve diferença estatística entre a pastagem e o plantio direto; os quais diferiram estatisticamente dos demais tratamentos (figura 2).

O florestamento apresentou em todo o seu perfil, os menores valores de densidade do solo, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

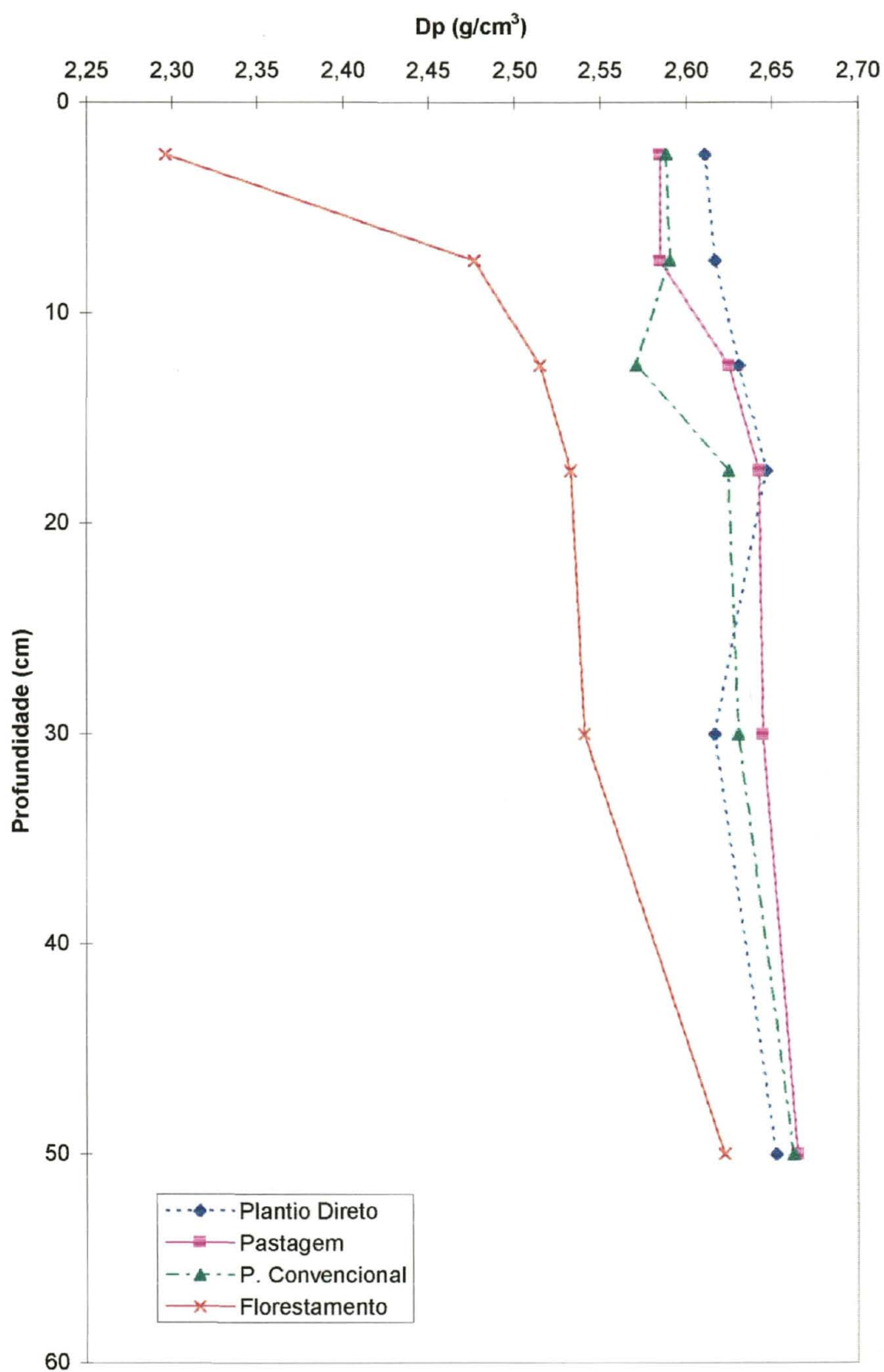


FIGURA 1: Variação da densidade das partículas em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

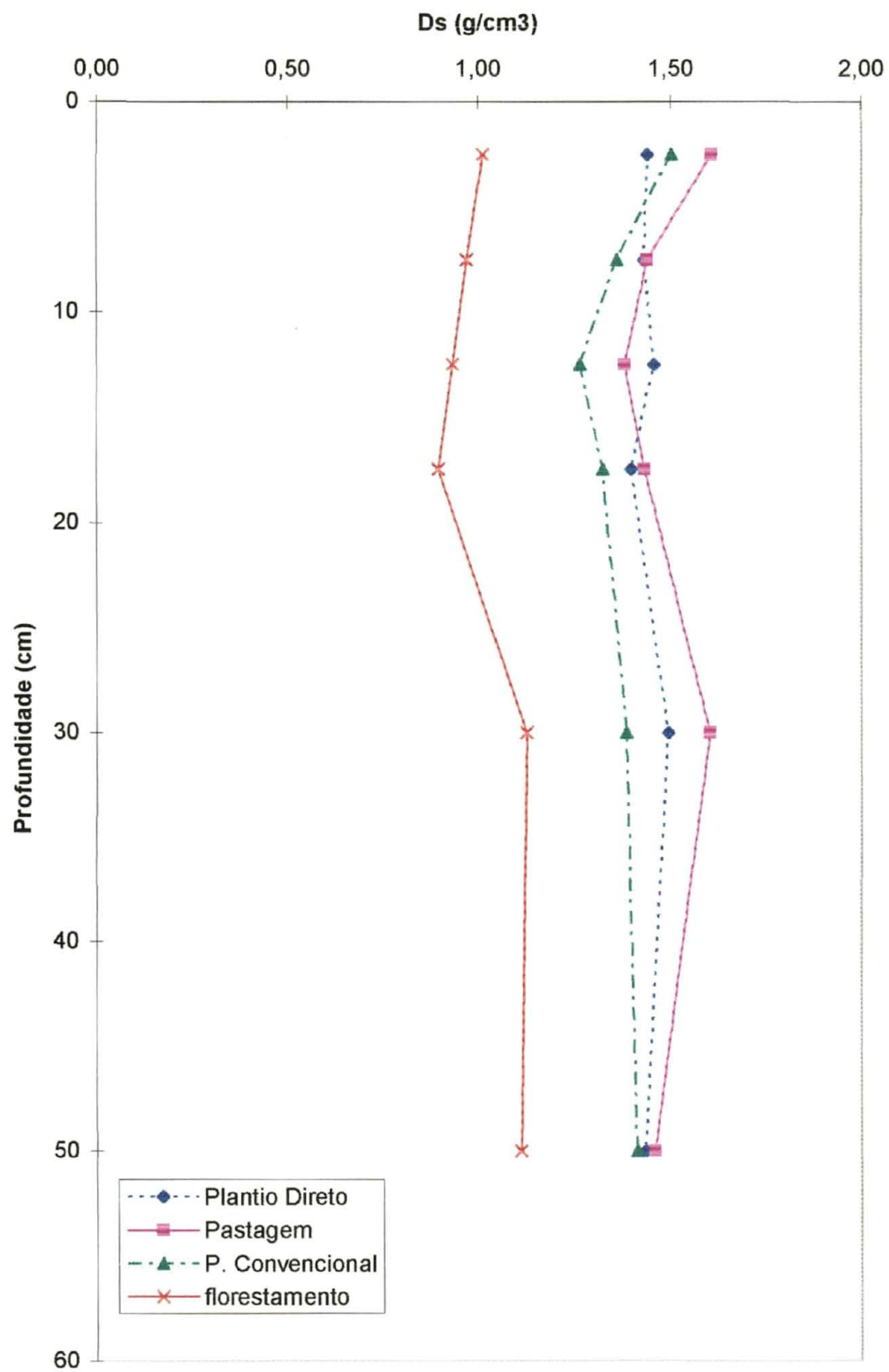


FIGURA 2: Variação da densidade do solo em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

Os valores de densidade do solo das 4 áreas estudadas variaram de 0,89 a 1,61 g/cm³.

Observa-se uma relação inversa entre a densidade e a porosidade total, a maior densidade se reflete numa menor porosidade total.

A densidade foi maior na pastagem e no plantio direto. Os valores encontrados nesses tratamentos não significam, necessariamente, que houve aumento na densidade do solo nesses sistemas, podendo ter ocorrido a diminuição dos valores no tratamento com maior mobilização do solo (plantio convencional) na camada arável.

Observa-se uma tendência dos valores, da densidade do solo, diminuir com o aumento dos teores de carbono orgânico.

As culturas apresentam comportamento diferenciado na densidade do solo nos sistemas de plantio direto, plantio convencional e pastagem, possivelmente devido ao fato de:

1. Na área de plantio convencional, devido ao pouco tempo de implantação de cultivo (1º ano de utilização), não houve tempo suficiente para que esse sistema exercesse influência sobre a agregação do solo, porosidade, densidade do solo e carbono orgânico; uma vez que essa área era inicialmente ocupada por pastagens de gramíneas perenes, cujo sistema radicular é extenso mas em constante renovação, sendo as mais eficientes na agregação do solo.

2. O solo sob pastagem apresentou tendência de compactação, apresentando maiores valores nas profundidades de 0-5 e 30-40 cm. Tais observações podem ser explicadas pelo pisoteio do gado, que exercendo uma pressão na superfície do solo favorece a compactação da camada superficial, menor intensidade foliar devido a menor qualidade (produtividade) da pastagem nativa e ao pastejo, quanto menor a intensidade foliar, menor a produção de raízes, aumentando a densidade (DEINUM, 1985), bem como pela ausência de revolvimento que pode resultar em um solo superficialmente mais compactado, efeito de chuvas torrenciais, diminuição do teor de matéria orgânica. Os valores mais elevados em profundidade, não

possuem evidência suficiente para se relacionar ao efeito do sistema de cultivo, podem ser eventualmente explicados por um erro de amostragem, por uma maior variabilidade do solo naquele sítio (variações intrínsecas do solo). Os menores valores observados na camada de 05-30 cm poderiam ser explicados, pela melhor agregação promovida pelas gramíneas e conseqüentemente maior porosidade do que os outros sistemas de manejo.

3. O sistema de plantio direto, apresentou valores de densidade do solo em superfície (0-5 cm), menores que os do plantio convencional e pastagem, o que pode ser atribuído ao não revolvimento do solo e a manutenção dos restos culturais, bem como pelo acúmulo em superfície de matéria orgânica, uma vez que, a diminuição do teor de carbono orgânico em profundidade está acompanhada pelo aumento dos valores de densidade do solo; resultado dos menores teores de argila deste solo em relação a pastagem, o que vem a destacar o papel preponderante da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo. O plantio direto apresentou menor densidade do solo na superfície devido a deposição de restos culturais, o que favorece o acúmulo de matéria orgânica, o crescimento radicular superficial e a reestruturação do solo.

4. O plantio convencional apresentou em relação à pastagem e ao plantio direto, valores baixos na profundidade de preparo (0-20 cm), à exceção da camada superficial (0-5 cm) que apresentou valor mais elevado, pois o solo descoberto está mais sujeito ao impacto das gotas na superfície do solo, refletindo numa maior densidade do solo e menor porosidade nesta camada (0-5 cm), o que pode ser observado no quadro 1.

Os baixos valores observados na profundidade de preparo (0-20 cm), ocorreram possivelmente devido a destruição mecânica dos agregados pelos implementos, com a mobilização do solo, há um aumento do volume de poros, principalmente dos macroporos e, conseqüente diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade na camada arável.

Logo abaixo, na camada de 20-25 cm, o perfil apresenta densidade do solo mais elevada, devido possivelmente ao preparo do solo com a grade pesada, implemento com elevado potencial para compactação.

Em profundidade (40-60 cm), o sistema convencional apresentou os menores valores de densidade do solo em relação ao plantio direto e à pastagem, possivelmente devido a uma maior atividade biológica, ocasionada pela decomposição das raízes em profundidade, devido ao seu rompimento com a parte aérea, uma vez que esta área era um campo nativo e o sistema de plantio convencional apresentava pouco tempo de utilização; esta maior atividade biológica em profundidade é comprovada pela análise micromorfológica a qual apresentou uma grande quantidade de galerias e sinais de intensa atividade biológica.

Resultados semelhantes foram obtidos por SALTON et al. (1995), onde as operações de preparo do solo para a implantação de soja em área de pastagem com *Brachiaria sp.* diminuíram a densidade do solo, aumentaram o volume de macroporos e em consequência, o volume total de poros do solo quando comparado ao plantio direto.

O florestamento diferiu significativamente dos demais tipos de manejo, apresentando os menores valores de densidade do solo, porém não apresentou diferença significativa entre seus níveis de profundidade.

Os menores valores da densidade do solo observados sob florestamento, podem ser interpretados como: diferenças morfológicas do seu sistema radicular, pelo porte elevado das árvores, reflete um sistema radicular mais desenvolvido e com hábito pivotante acentuado, desenvolvendo raízes secundárias agressivas, visando uma melhor ocupação do solo, tempo de atuação do florestamento, falta de revolvimento, ação estabilizadora de substâncias orgânicas secretadas pelas raízes e sintetizadas pelos micro organismos.

Segundo HEINONEN, citado por KIEHL, 1979, essa menor densidade do solo pode estar correlacionada com a maior quantidade de agregados granulares.

Neste tratamento, os valores da densidade do solo são crescentes com a profundidade, acompanhando a diminuição dos teores de carbono orgânico e devido ao peso das camadas superiores.

5.1.3 GRANULOMETRIA

A análise granulométrica, a qual variou estatisticamente (Quadro 1), mostrou serem estes solos de textura média (plantio direto, plantio convencional e florestamento) e de textura argilosa (área de pastagem).

Nos perfis estudados, as frações mais finas, silte e argila, variaram muito pouco com a profundidade, indicando solos de baixo gradiente textural. As quantidades de areia e argila variaram sensivelmente sendo que a porcentagem de areia foi mais elevada nas áreas de plantio direto, convencional e florestamento enquanto que a porcentagem de argila foi maior na pastagem (figura 3).

A areia grossa predominou sobre a areia fina em todos os perfis.

A fração predominante no plantio direto, convencional e florestamento foi a areia com percentagens superiores a 50%, com predomínio da areia grossa; os teores de silte variaram de 13 a 22 %, e os teores de argila, os quais variaram de 17 a 27 %, foram superiores aos de silte, aumentando com a profundidade.

A pastagem apresentou composição granulométrica diferente das demais áreas estudadas, constatando-se um predomínio da argila que aumentou em mais de 20% em relação

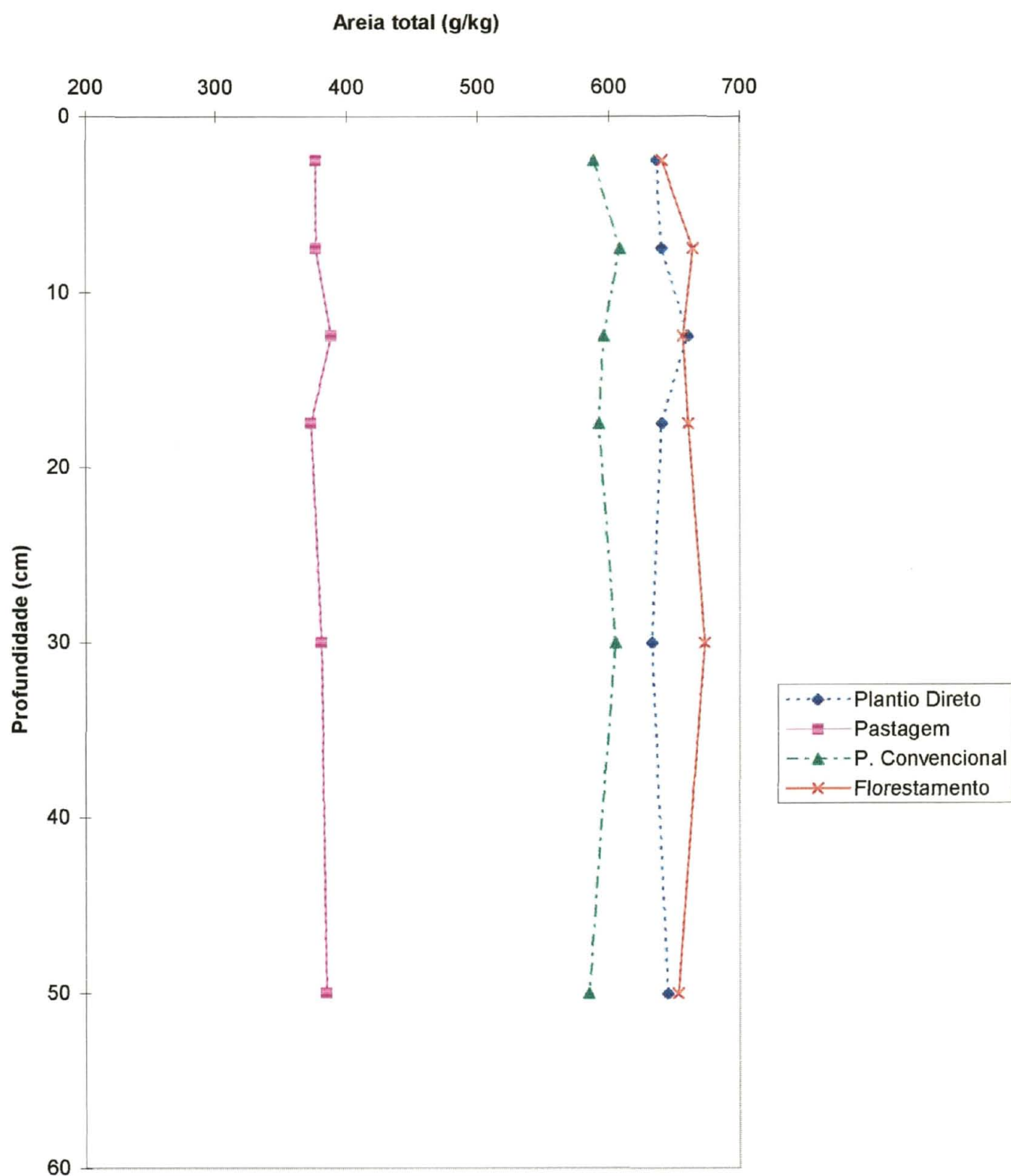


FIGURA 3: Concentração de areia total em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

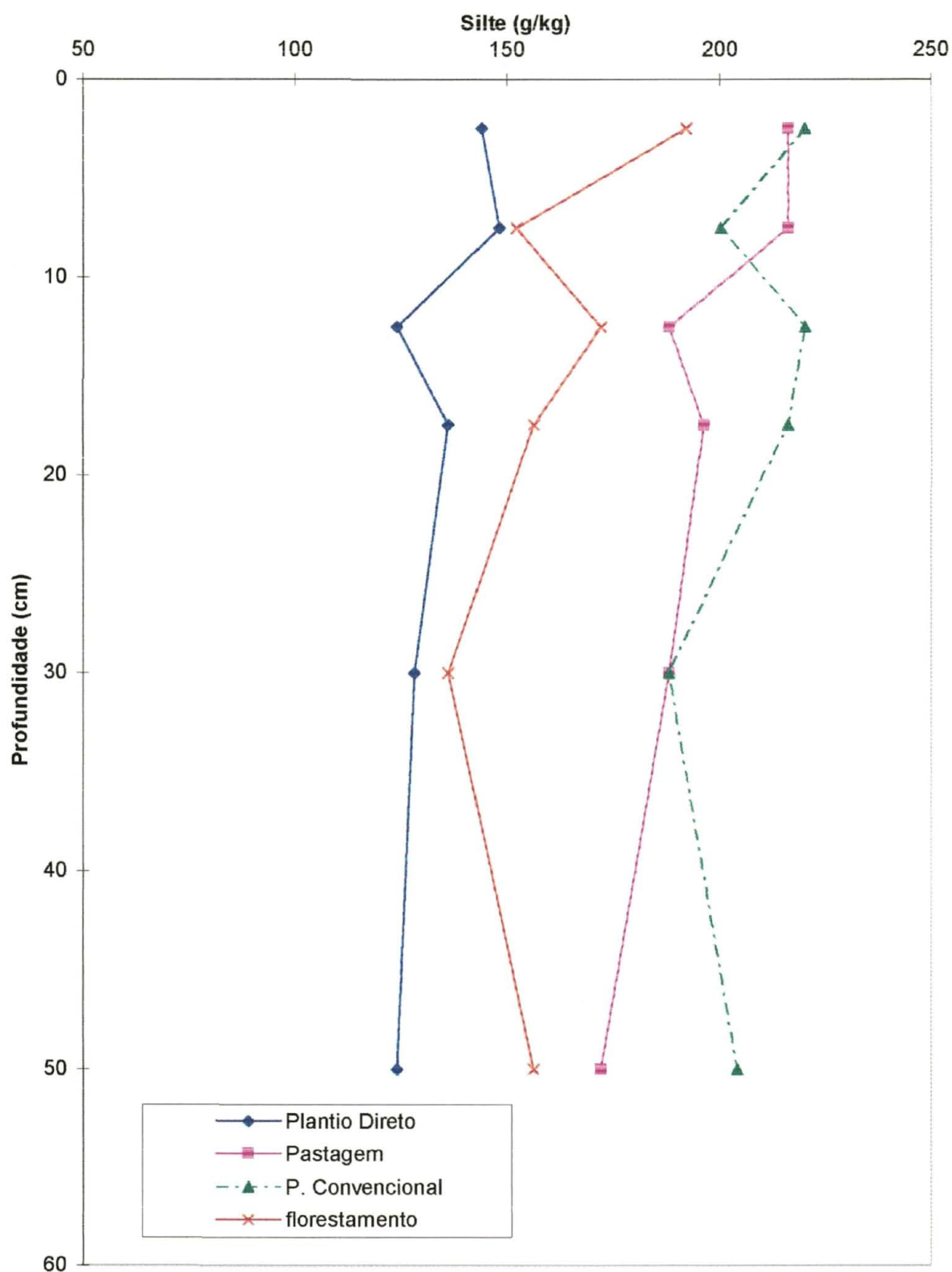


FIGURA 4: Concentração de silte em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

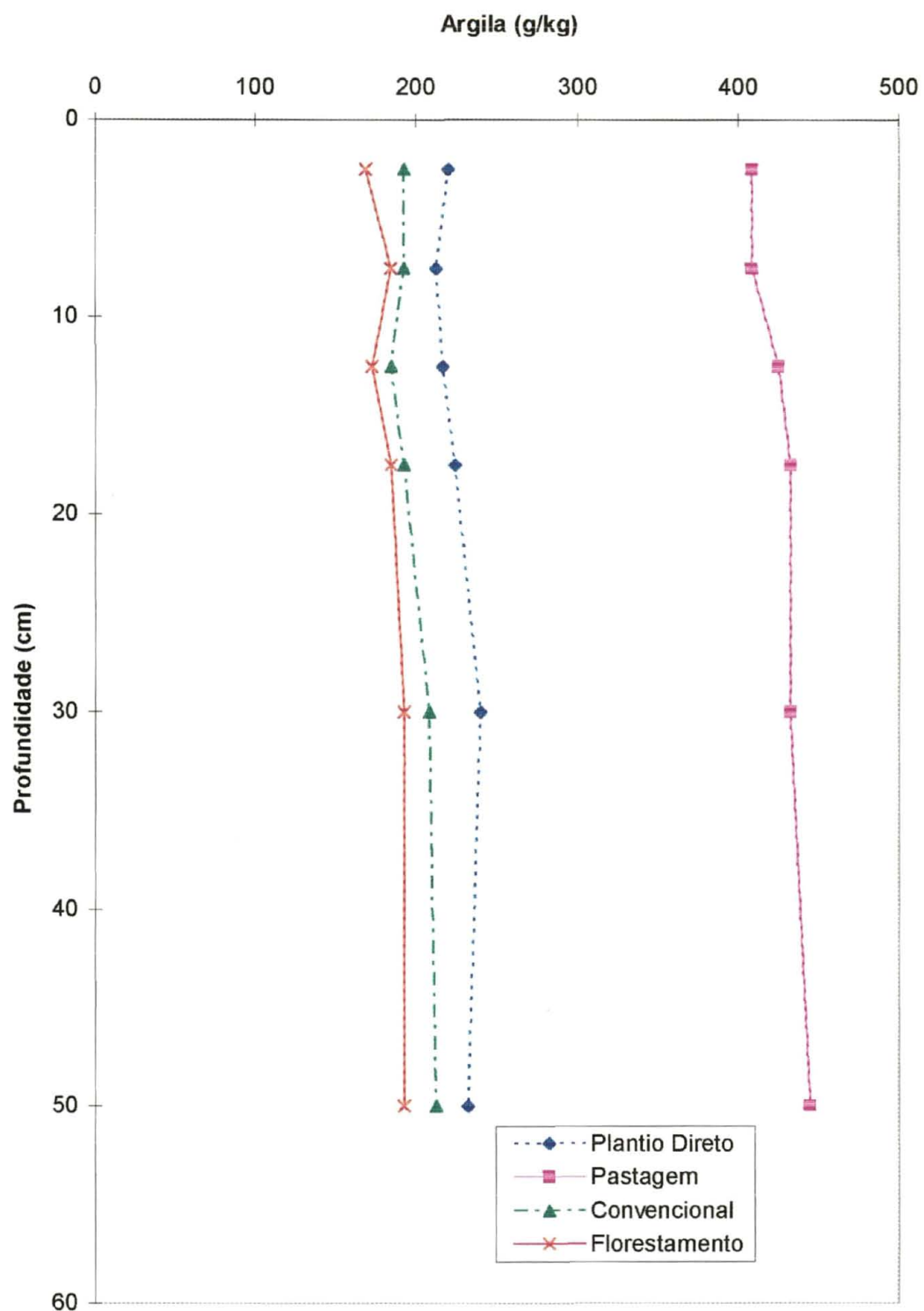


FIGURA 5: Concentração de argila em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

às outras áreas, com variações de 41 a 45% no perfil, aumentando com a profundidade. Ocorreu um decréscimo da fração areia total, com variações de 37 a 39%, porém com a presença de areia grossa bem superior a areia fina; os teores de silte variaram de 17 a 22% e foram superiores aos teores do plantio direto e florestamento ao longo de todo o perfil e superiores apenas na camada superficial (0-10 cm) em relação ao plantio convencional.

5.1.4 POROSIDADE TOTAL

O solo sob florestamento apresentou maior porosidade, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. Os valores determinados da porosidade total, compreendidos entre 38 % e 51 %, estão dentro da faixa encontrada em solos minerais (30-60 %).

A porosidade total distribuiu-se de maneira inversa à densidade do solo, ou seja, à proporção que diminuiu esta, aumentou a percentagem do espaço poroso e vice-versa, como pode ser observado no Quadro 1.

No plantio direto, a camada superficial (0-5 cm) apresentou menor porosidade quando comparada com as demais camadas em profundidade (figura 6), devido possivelmente ao não revolvimento do solo e ao uso de implementos agrícolas sobre o solo causando compactação, resultados semelhantes foram obtidos por OLIVEIRA et al., (1990).

No plantio direto, a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo proporcionou maior porosidade total na camada superficial (0-5 cm) em relação ao plantio convencional e a pastagem, fato observado também por BERTOL et al.,(1997).

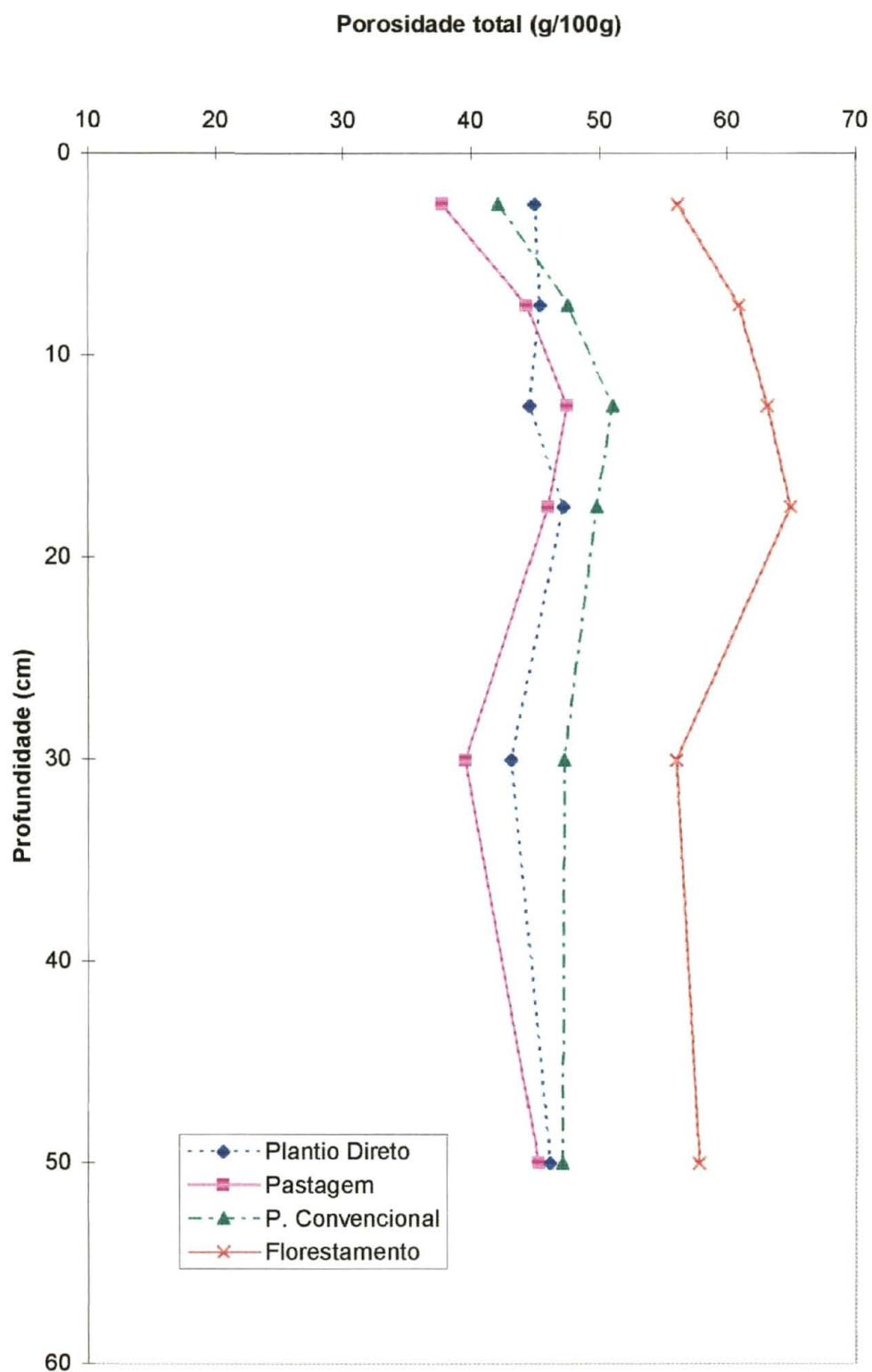


FIGURA 6: Valores da porosidade total determinada em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

O plantio convencional apresentou valores de porosidade total superiores aos encontrados no plantio direto e na pastagem, à exceção da camada superficial (0-5 cm), cujos valores foram inferiores aos do plantio direto, coerente com os maiores valores de densidade do solo encontrados nesta camada.

Os maiores valores de porosidade total encontrados no plantio convencional, devem-se à mobilização do solo, que tende a causar um aumento no volume de macroporos, influenciando a porosidade.

A menor porosidade foi constatada na camada superficial da pastagem, o que evidência o adensamento desta camada, possivelmente devido ao pisoteio de animais.

Os altos valores de porosidade total em todo o perfil do solo sob florestamento, refletem uma boa estrutura do solo e estão relacionados com baixos teores de densidade do solo, com a grande quantidade de raízes encontradas neste perfil, isto pelo efeito do sistema radicular, pela influência protetora da mesma e pela ação estabilizadora de substâncias orgânicas secretadas pelas raízes e sintetizadas pelos micro organismos do solo no processo de decomposição da matéria orgânica.

5.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Os resultados da caracterização química das áreas estudadas estão no quadro 2.

5.2.1 ALUMÍNIO TROCÁVEL

Houve diferença significativa entre os tratamentos.

Com exceção do plantio direto, todos as demais áreas possuem caráter álico apresentam teores elevados de alumínio em todo o perfil do solo ($>1,5 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ solo), tais resultados mostram a necessidade de uma calagem em todos os tratamentos.

A elevação nos valores de pH determinam, na razão inversa, variações na ocorrência de alumínio trocável.

A pastagem apresentou os maiores teores de alumínio, diferindo significativamente dos demais tipos de manejos, não apresentando, porém, variação significativa em profundidade, sendo a saturação por alumínio maior ao longo de todo o solo. Esses teores mais elevados refletem a condição de fertilidade natural do solo associados com as maiores quantidades de argila encontradas neste tratamento (figura 7).

Os altos valores de saturação de alumínio ($m>75\%$), verificados ao longo do perfil, refletem a baixa saturação de bases e os baixos valores de pH do solo, caracterizando a condição de alto conteúdo de alumínio extraível, sendo limitante ao cultivo (figura 14).

O teor de alumínio aumenta com a elevação dos teores de hidrogênio, pois o alumínio trocável no solo é consequência do acúmulo de hidrogênio no solo que vai ocasionar a liberação do alumínio que se encontrava nas superfícies dos minerais de argila.

A baixa fertilidade natural e alumínio trocável em níveis tóxicos, é o padrão normalmente apresentado pelos solos álicos dessa região (EMBRAPA, 1984, pg.158-159), esse alumínio é liberado no intemperismo dos argilominerais.

Não houve diferença significativa entre os sistemas de plantio convencional e florestamento, bem como entre suas respectivas profundidades.

O teor de alumínio trocável diminuiu com a profundidade quando sob florestamento, esses decréscimos no solo podem estar relacionados com a redução da acidez potencial desse

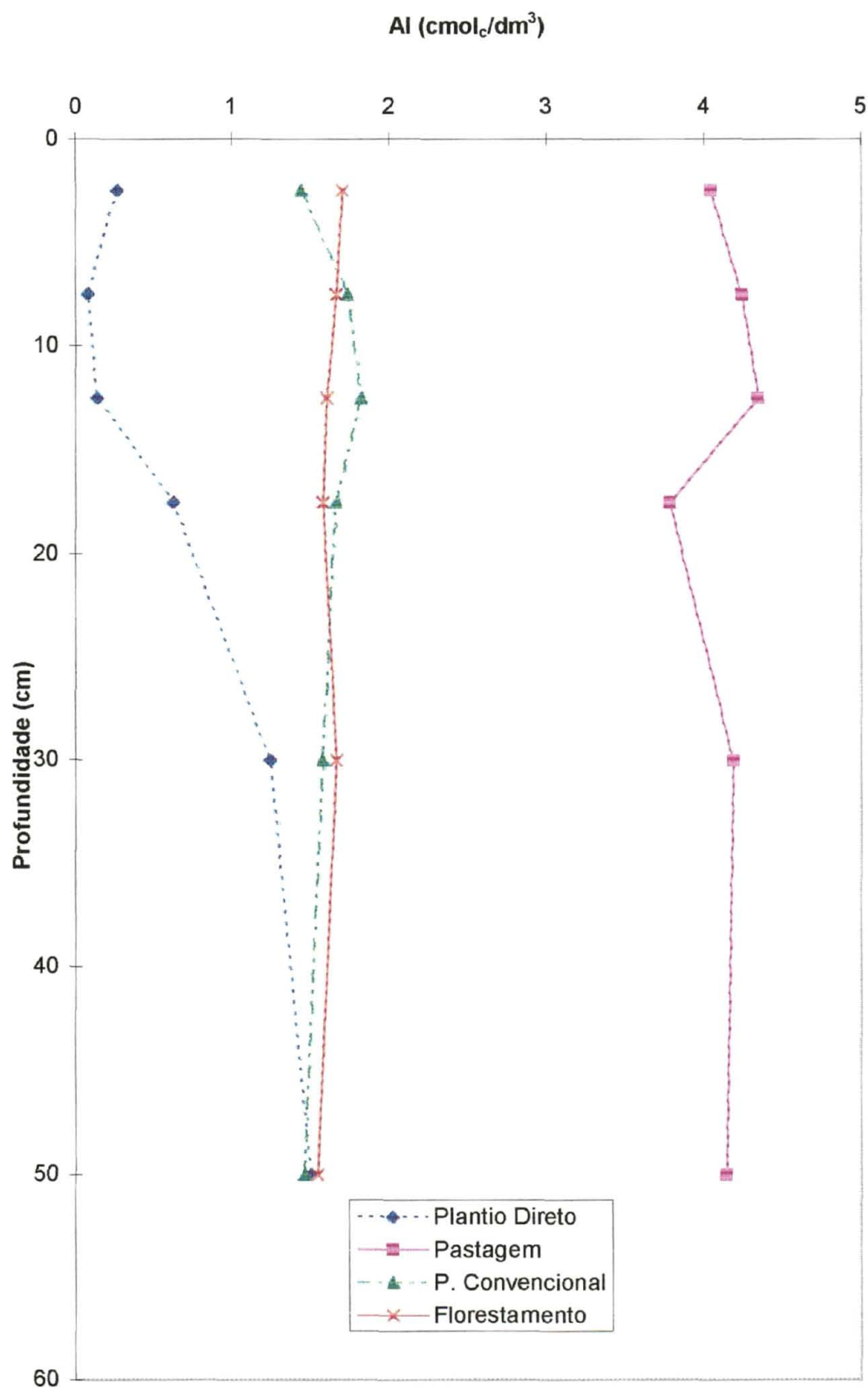


FIGURA 7: Teor de alumínio trocável em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

solo com a profundidade. Essa alteração pode ter sido causada pela própria planta em razão da maior absorção de bases.

O plantio direto diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando os menores teores de alumínio em todo o perfil estudado ($< 1,5 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ solo).

Para este tratamento, ocorre uma relação entre os teores de alumínio trocável e o pH do solo, havendo a neutralização do alumínio quando os valores de pH se aproximam de 5,5.

Na camada superficial do solo sob plantio direto (0-15 cm) estão os menores teores de alumínio, porém é na camada de 10-15 cm de profundidade que os teores se aproximam de zero. A nível de superfície os menores teores de alumínio trocável estão relacionados com a aplicação superficial de calcário, a qual reduziu a saturação de alumínio e elevou o pH; pela decomposição de resíduos culturais na superfície do solo, elevando os teores de matéria orgânica e promovendo a complexação do alumínio por agentes quelantes.

Ocorre um aumento gradual do alumínio com a profundidade, na camada de 15-40 cm, os teores de alumínio são médios e, abaixo dos 40 cm esses teores passam a ser elevados, refletindo a condição natural dos solos desta região.

5.2.2 pH.

Interação significativa, os valores de pH do solo foram afetados pelos sistemas de manejo, encontrando-se os maiores valores no plantio direto, seguido pelo plantio convencional, florestamento e pastagem.

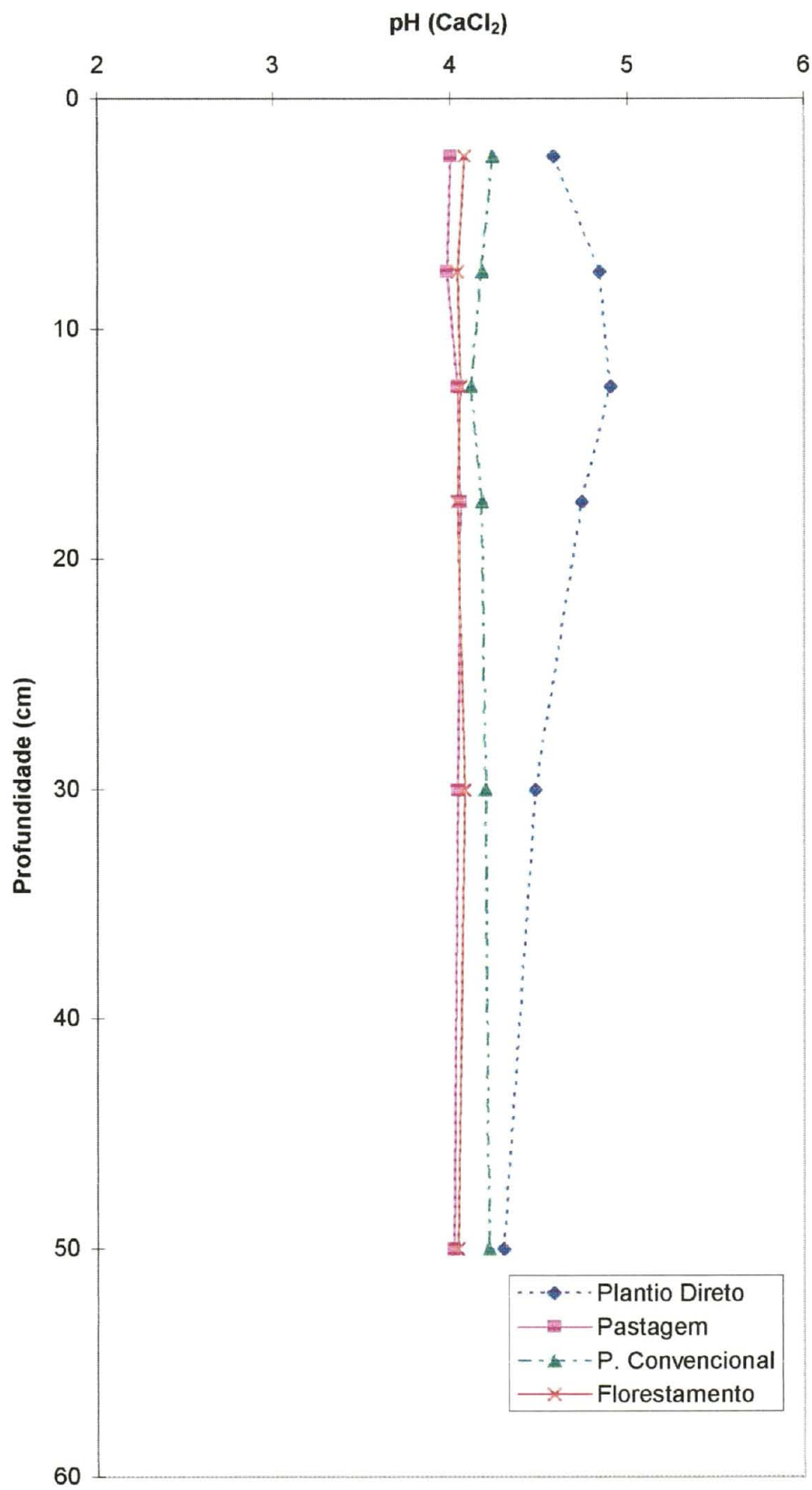


FIGURA 8: Valores de pH em várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

Segundo os critérios adotados pelo SNLCS (EMBRAPA, 1988), todos os perfis analisados ficaram incluídos dentro da classe de extremamente ácido ($\text{pH} < 4,3$), à exceção do plantio direto, o qual se enquadrou na categoria de fortemente ácido ($\text{pH} < 5,3$).

A ação dos sistemas de manejos na maior ou menor acidificação do solo, pode ocorrer através da produção de ácidos orgânicos e nitratos, a partir da decomposição dos seus resíduos culturais.

O teor de cátions trocáveis (Ca, Mg, K), foi maior nas camadas com pH mais elevado, verificando-se o contrário com a acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e o alumínio trocável.

Verificou-se que o plantio direto é o tipo de manejo que possui a maior média de pH em todo o perfil em relação aos demais tipos de manejos, e que dentro deste tratamento a maior concentração de pH está nos primeiros 20 cm do perfil do solo (figura 8).

Os baixos valores de pH encontrados na camada superficial (0-10 cm), podem ser devidos a um elevado poder tampão do solo, o que fica evidenciado pelos altos teores de cálcio e magnésio associados aos teores elevados de matéria orgânica encontrados nesta camada.

No plantio direto, o pH decresceu com a profundidade devido à aplicação superficial do calcário sem incorporação e a baixa mobilidade do cálcio, observou-se uma pequena acidificação na camada superficial devido possivelmente ao uso de adubos nitrogenados.

No plantio convencional os valores foram homogêneos ao longo do perfil, sendo superiores aos valores encontrados no florestamento e na pastagem.

Segundo HAYNER (1983), os baixos valores encontrados no plantio convencional, podem ser explicados pela pobreza do material de origem e pelo revolvimento do solo no ano anterior, o que pode explicar em parte a maior acidificação, pela maior mineralização de materiais orgânicos com a conseqüente produção de nitratos.

No florestamento os valores foram homogêneos ao longo do perfil, sendo superiores apenas aos da pastagem.

A pastagem apresentou os menores valores de pH ao longo do perfil em relação a todos os outros tratamentos, devido a falta de calagem, refletindo a condição original do solo, ao maior poder tampão deste solo que apresentou os maiores percentuais de argila e, também, a partir dos 15 cm de profundidade, apresentou os maiores teores de matéria orgânica em relação aos demais tratamentos.

5.2.3 ACIDEZ POTENCIAL ($H^+ + Al$)

Houve diferença estatística entre os tratamentos, sendo que a pastagem apresentou os maiores níveis de acidez potencial, seguida pelo florestamento, plantio convencional e plantio direto (figura 9).

Os sistemas de manejo podem afetar a acidez potencial principalmente através da alteração dos compostos orgânicos, principais responsáveis pelas cargas dependentes do pH, geradas pela dissociação do íon H^+ de radicais orgânicos carboxílicos, fenólicos e oxidrílicos.

A diminuição do pH é proporcional a quantidade de íons ácidos liberados, ou seja, altos teores de $H^+ + Al$ são responsáveis pela elevada acidez do solo, estabelecendo uma relação inversa entre o pH e a sua acidez potencial, conforme já observado por MUZILLI (1985).

A predominância dos cátions $H^+ + Al$, saturando as cargas negativas dos solos, indicam valores relativamente elevados de CTC dependente do pH.

O plantio direto apresentou os menores níveis de acidez potencial, devido à calagem que diminuiu a concentração de íons hidrogênio, houve um pequeno aumento da acidez

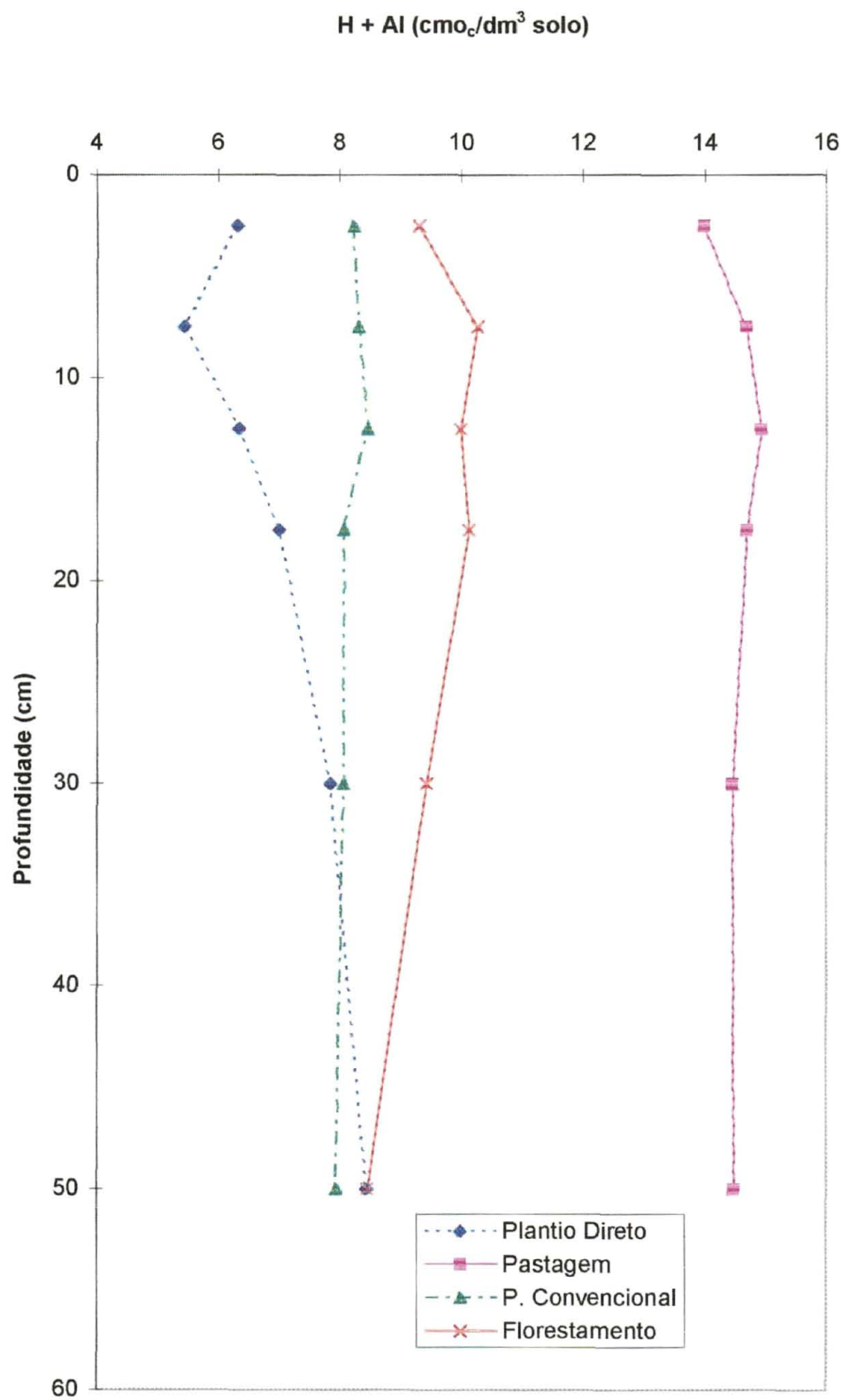


FIGURA 9: Acidez potencial do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

potencial na camada superficial (0-5 cm), decrescendo na camada inferior (5-10 cm) e, a partir desta camada, o nível de acidez potencial aumentou com a profundidade.

Esses níveis de acidez potencial mais elevados na camada superficial do plantio direto, poderia ser explicado possivelmente pelo uso de adubos nitrogenados.

A redução da acidez potencial, explicada pela elevação do pH, implica em aumento dos sítios de troca para adsorção de cátions básicos, refletindo melhoria na fertilidade do solo.

No plantio convencional, os maiores valores de acidez potencial encontrados na camada superficial (0-15 cm), estão relacionados aos maiores teores de carbono orgânico encontrados nesta camada, uma vez que o pH se manteve constante ao longo de todo o perfil estudado.

A nível de superfície (0-5 cm), o valor encontrado ($8,2 \text{ cmol/dm}^3$ solo) foi inferior aos valores encontrados nas camadas 5-10 cm ($8,3 \text{ cmol/dm}^3$ solo) e 10-15 cm ($8,5 \text{ cmol/dm}^3$ solo), esta diferença de valores pode também estar associada aos teores mais elevados de alumínio trocável encontrados na camada 5-15 cm, devido a maior absorção de bases trocáveis pela cultura do arroz, liberando hidrogênio e em consequência aumentando os teores de acidez potencial.

Abaixo da camada arável (0-20 cm), os valores acompanham a diminuição da matéria orgânica.

No florestamento os valores da acidez potencial foram mais elevados na camada 5-20 cm e estão relacionados com os maiores teores de carbono orgânico associados aos baixos valores de pH.

A pastagem apresentou os maiores níveis de acidez potencial, isto pode estar associado aos maiores teores de argila e de carbono orgânico encontrados neste solo, uma vez que as principais fontes da acidez potencial são:

- alumínio trocável nos seus diversos estados de hidratação, sendo que a pastagem apresenta os maiores teores de alumínio trocável em relação aos demais tratamentos.

- os diversos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio que existem nas superfícies das argilas ou nos seus espaços interlaminares.

- os ácidos e fenóis da matéria orgânica, através de seus radicais carboxila e hidroxila, havendo uma tendência de ocorrer maiores valores de $H+Al$ em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem pH muito baixo.

5.2.4 CARBONO ORGÂNICO

Houve diferença estatística entre os tratamentos, o carbono se distribuiu de modo semelhante entre os tratamentos, havendo uma concentração nos primeiros 15 cm de solo.

Em todos os perfis, os teores de carbono orgânico são altos ($>14\text{g/dm}^3$) na camada superficial (0-20 cm) e médios em profundidade (9-14 g/dm^3).

O plantio direto apresentou os maiores teores na camada superficial (0-15 cm), diferindo estatisticamente do plantio convencional, o qual diferiu da pastagem, exceto na camada 5-10 cm, onde não houve diferença entre o plantio convencional e a pastagem.

Em profundidade, abaixo dos 15 cm, a pastagem apresentou os maiores teores de carbono orgânico, seguida pelo plantio direto e este pelo plantio convencional.

O florestamento apresentou os menores teores de carbono em todo o perfil estudado, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (figura 10).

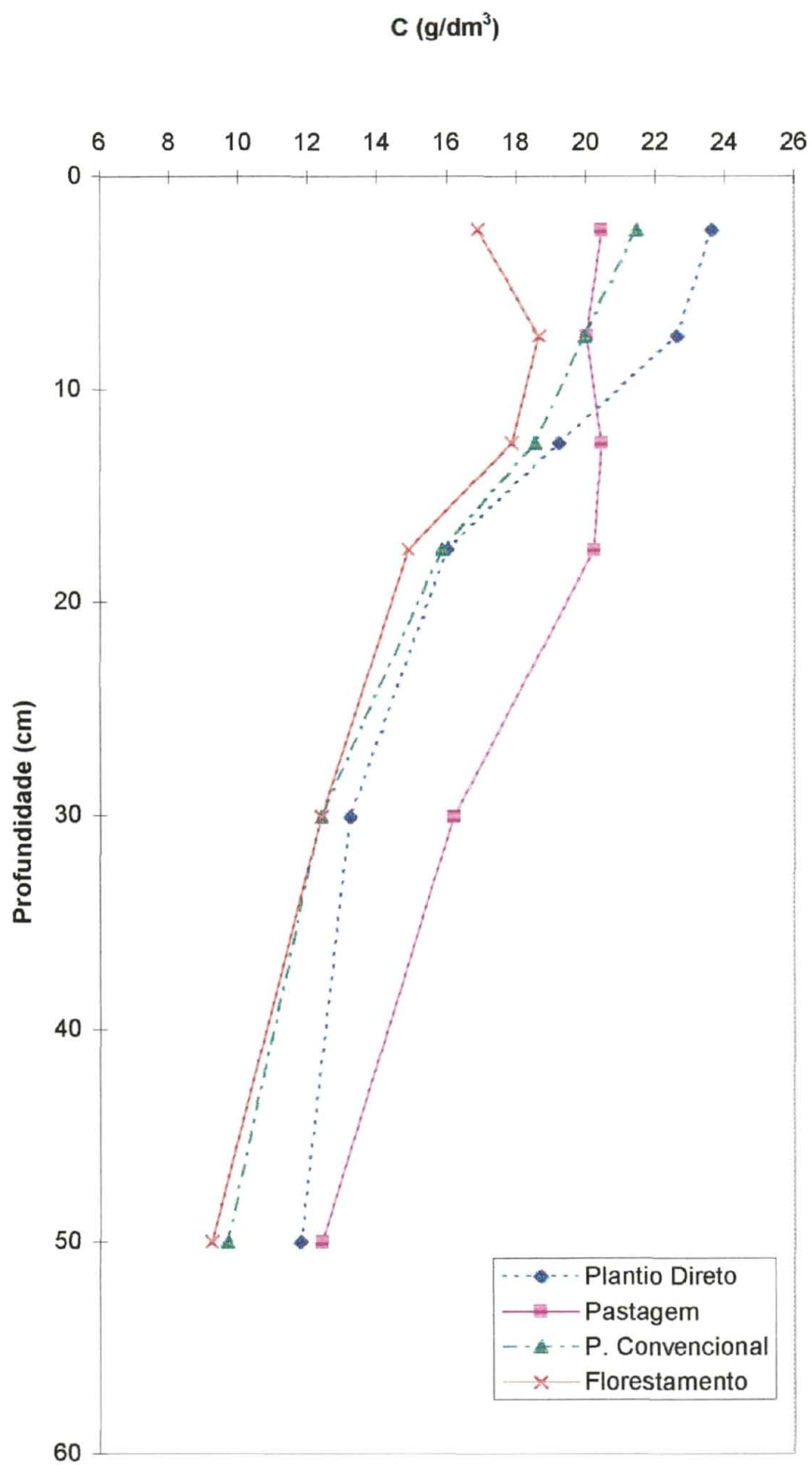


FIGURA 10: Teores do carbono orgânico no solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

No plantio direto e no convencional, o carbono orgânico encontrou-se distribuído de forma semelhante, sendo que no primeiro os aumentos foram mais significativos na camada superficial, decrescendo com a profundidade.

No plantio direto, houve um acúmulo de matéria orgânica na camada superficial (0-10 cm), decrescendo com a profundidade. Os maiores teores de carbono orgânico, observados em superfície, são resultados da menor taxa de perda de matéria orgânica, do acúmulo de resíduos orgânicos deixados em superfície e da pouca mobilização do solo, a maior concentração de carbono nos primeiros centímetros superficiais em solos manejados sob plantio direto, tem sido constatada por diversos autores (BLEVINS et al., 1984, BAVER et al., 1973).

Os maiores teores de carbono orgânico no solo, até a profundidade de 20 cm, podem demonstrar que este tratamento se encontra estável, existindo igualdade entre as taxas de adição e perda de carbono orgânico ao longo do tempo, resultados semelhantes foram obtidos por DEBARBA e AMADO, (1997).

Este resultado indica o benefício do plantio direto para a manutenção da matéria orgânica e, provavelmente, da capacidade de suprimento de nitrogênio do solo, nutriente limitante ao rendimento das culturas.

O uso de culturas com produção de biomassa maior que a da pastagem nativa, permitiu elevar o teor de carbono do solo, desde que cultivadas sem o revolvimento, o aumento no teor de carbono do solo, determinado pelo plantio direto, promoveu o aumento na CTC potencial.

No plantio convencional, na camada superficial (0-10 cm), os teores foram menores aos encontrados no plantio direto, havendo uma pequena concentração nos primeiros 5 cm do perfil, decrescendo em seguida, os menores teores de carbono orgânico podem ser explicados por uma maior mineralização, menor quantidade de biomassa produzida e perdas por erosão.

Em profundidade, abaixo dos 10 cm, apesar de haver diferença significativa entre o plantio convencional e o plantio direto, os valores são muito semelhantes entre si, provavelmente, devido ao curto período de tempo entre a instalação do plantio convencional e a avaliação desse parâmetro, não havendo tempo suficiente para que ocorressem alterações nos teores de carbono neste tratamento (maior mineralização, perdas por erosão).

A pastagem apresentou, a partir dos 15 cm de profundidade, os maiores teores de carbono orgânico, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, esses teores permaneceram constantes nos primeiros 20 cm, decrescendo com a profundidade.

Na pastagem, este elemento está mais homoganeamente distribuído no perfil até os 20 cm de profundidade, permanecendo constante devido a falta de revolvimento do solo e ao crescimento das raízes, as quais são mais abundantes nos primeiros 20 cm, principalmente em gramíneas perenes, onde há mais tempo para um desenvolvimento de raízes e incorporação de material orgânico; decrescendo com a profundidade

Esses teores permaneceram constantes e são determinados pelos fatores de formação do solo, como: clima, vegetação, relevo e material de origem, devido à influência destes sobre as taxas de adição e de perda de material orgânico do solo (MALAVOLTA, 1976).

Ocorreu uma relação entre o teor de matéria orgânica e a textura, o solo arenoso apresenta um menor teor de carbono orgânico porque armazena menos água e oferece condições para uma oxidação mais rápida da matéria orgânica.

No florestamento, o teor de carbono na camada superficial (0-5 cm) foi igual a 16,88 g/dm³ e, abaixo desta camada, ocorreu uma elevação no teor de carbono (variando de 18,64 a 17,88 g/dm³) concentrando-se até os 15 cm, diminuindo com a profundidade.

Os teores mais elevados encontrados na camada 5-15 cm, podem ser decorrentes de uma maior exudação de carbono orgânico pelas raízes finas do pinus, as quais se concentraram

nesta camada, ocasionando uma elevação no teor de carbono, associada a uma atuação mais intensa de micorrizas na deposição de substâncias húmicas nesta camada; resultados semelhantes foram encontrados por KAHIL, (1986).

Em condições de elevada acidez (valores de pH muito baixos e altos teores de alumínio trocável), pode ocorrer limitação na decomposição da matéria orgânica e, o solo, a longo prazo, acumula matéria orgânica, pois a extrema pobreza é mais prejudicial para os micro organismos decompositores do que para as plantas (TOMÉ JR., 1997).

Os menores teores de carbono encontrados em profundidade em todos os tratamentos, à exceção da pastagem, podem estar relacionados aos maiores teores de areia encontrados nesses tratamentos, pois quanto mais ricos em areia forem os solos, mais quentes e arejados serão e, conseqüentemente, mais favoráveis à decomposição da matéria orgânica e mais pobres em carbono.

Na pastagem, os maiores teores de argila ocasionariam diminuição da aeração, menor aquecimento pela radiação solar e maior umidade; segundo KIEHL (1979), fatores que contribuem para um maior acúmulo de matéria orgânica e conseqüentemente de carbono.

5.2.5 CTC MINERAL

As áreas estudadas apresentaram valores de CTCm maiores que $13 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ na camada de 40-60 cm, respectivamente: 20,65; 21,89; 21,91 e 28,44 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$, estes valores são indicativos de argila de atividade elevada, o que caracteriza a presença de cambissolos (quadro 2).

A presença de vermiculita com hidróxi-Al entre camadas (VHE) é, provavelmente, responsável pela maior parte da CTC_m, uma vez que a VHE apresenta uma CTC_m variável, de acordo com o seu grau de preenchimento com o alumínio nas entrecamadas; provavelmente, nestes solos o grau de preenchimento com alumínio nas entrecamadas é parcial, permitindo que uma parte da CTC_m fique disponível.

5.2.6 CTC POTENCIAL.

Houve diferença significativa entre os tratamentos, à exceção do plantio direto e florestamento que não diferiram entre si.

A CTC_p foi sempre maior nas camadas superficiais do solo (0-15 cm), devido à contribuição da matéria orgânica na CTC_p (figura 11).

Com a diminuição do pH, ocorre uma elevação dos conteúdos de alumínio trocável na CTC_p, variando de 0,8% na camada superficial do plantio direto (pH = 4,8) para mais de 26% na camada superficial do solo sob pastagem (pH = 4,0).

A pastagem apresentou os maiores valores de CTC_p em relação aos demais tratamentos, valores estes que se mantêm constantes ao longo do perfil.

Os maiores valores encontrados neste tratamento não representam uma fertilidade elevada, uma vez que este solo apresenta baixos teores de cálcio e magnésio, estes valores são devidos a diferenças no teor de matéria orgânica e ao teor de argila, o qual é mais elevado neste solo.

Dentre os fatores que influenciam a CTC_p, a quantidade e a superfície específica das argilas é fundamental, pois quanto maior o teor de argila, maior o valor da CTC_p, devido ao

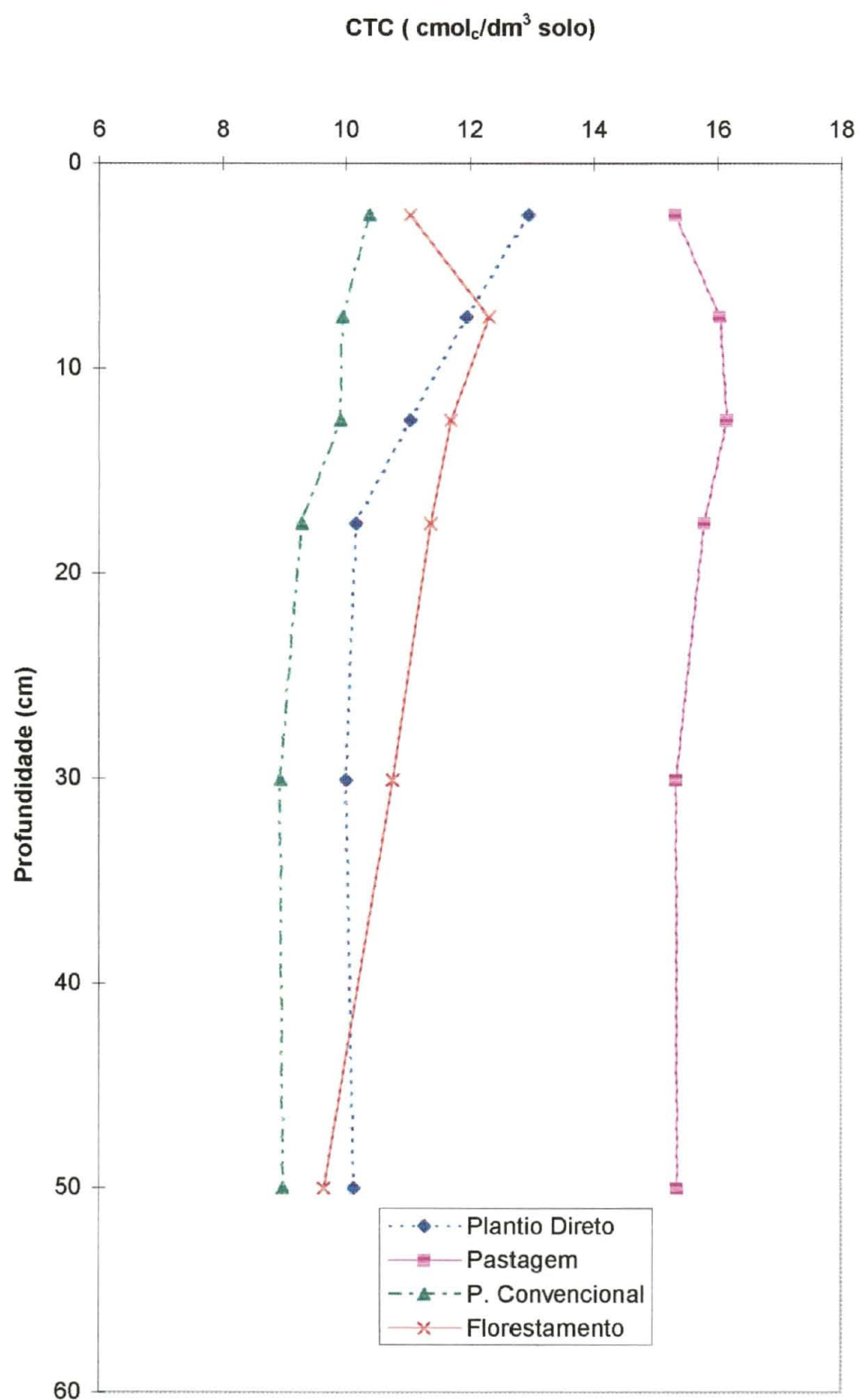


FIGURA 11: CTC potencial do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

maior poder de adsorção de cátions da argila em relação à areia.

Segundo TISDALL e OADES (1982), sistemas que adicionam grandes quantidades de carbono orgânico ao solo, além de favorecer o aumento do teor de matéria orgânica, contribuem para a elevação da CTCp.

O plantio direto apresentou a nível de superfície (0-5 cm) os maiores valores de CTCp em relação ao plantio convencional e ao florestamento, decrescendo com a profundidade, sempre acompanhando os teores de carbono orgânico, os quais são mais elevados na camada superficial.

Segundo KIEHL (1979), os maiores valores de pH também contribuem para uma maior CTCp na camada superficial (0-15 cm), devido possivelmente à dissociação do hidrogênio ligado por covalência nos grupos carboxílicos da matéria orgânica

O plantio convencional apresentou os menores valores de CTCp em relação aos demais tratamentos, devido, possivelmente, aos baixos valores de pH, baixos teores de cálcio e magnésio, maiores teores de areia em relação à pastagem e a um aumento da oxidação da matéria orgânica.

O florestamento apresentou na camada superficial (0-5 cm) os menores valores da CTCp em relação à camada inferior (10-20 cm) e, a partir desta camada os valores decrescem com a profundidade. Os maiores valores da CTCp encontrados na camada intermediária do perfil (10-20 cm), estão associados ao maior teor de carbono orgânico da mesma.

5.2.6 CTC EFETIVA

Os valores da CTCe foram mais elevados nos perfis sob plantio direto e pastagem,

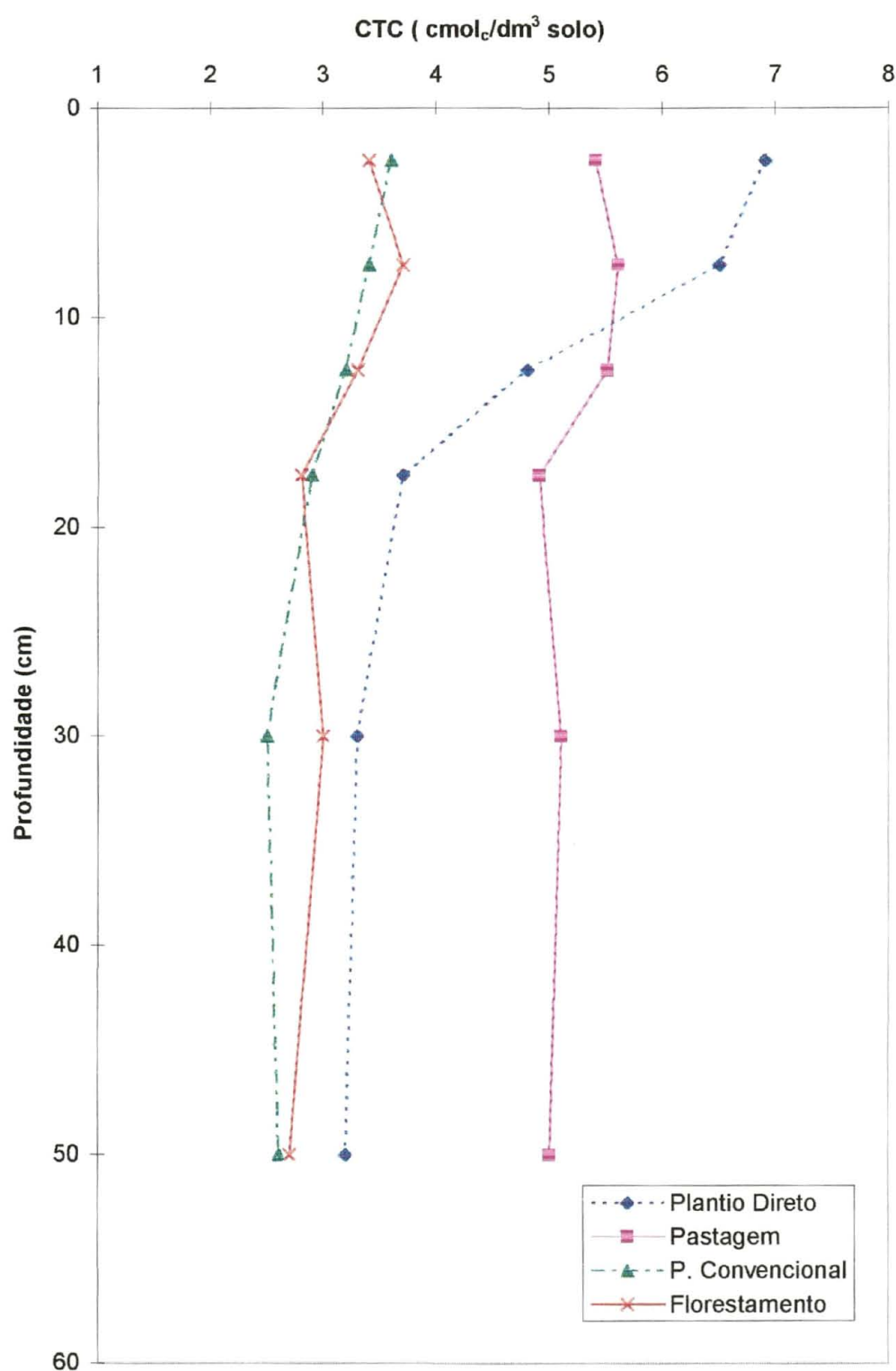


FIGURA 12: CTC efetiva a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

seguidos pelo plantio convencional e este pelo florestamento (Figura 12).

Em todas as áreas estudadas a CTCe foi mais elevada na camada superficial (0-15 cm), diminuindo com a profundidade.

O plantio direto apresentou os maiores valores em relação aos demais tratamentos, sendo estes valores mais elevados na camada superficial (0-15 cm), acompanhando os maiores valores de pH e da soma de bases encontrados nesta camada. O uso de fertilizantes e corretivos contribuiu para a elevação da CTCe nesta camada, pois o hidrogênio que ocupava os sítios de troca foi substituído pelas bases, principalmente pelo cálcio. Em profundidade, os valores da CTCe são baixos e refletem a condição original do solo.

Segundo SANCHEZ et al, (1976), a CTCe aumenta a medida que o pH se eleva devido a remoção do hidrogênio por neutralização (reação com hidroxilas formando água), o aumento na CTCe em solos cultivados, tem uma influência muito significativa no decréscimo de cátions por lixiviação.

A pastagem apresentou valores de CTCe mais elevados em todo o perfil, quando comparada com o plantio convencional e o florestamento. Estes maiores valores são consequência do maior teor de argila apresentado por esta área, uma vez que o pH e a soma de bases são inferiores aos valores encontrados no plantio convencional e no florestamento.

Os maiores teores de argila encontrados na pastagem proporcionam maior quantidade de cargas negativas e, associadas a níveis elevados de acidez (baixo pH), retém muitos íons de hidrogênio, os quais ocupam as cargas negativas do solo bloqueando os sítios de troca.

No florestamento e no plantio convencional, os valores da CTCe são baixos na camada superficial, decrescendo com a profundidade, refletindo a baixa fertilidade destes perfis, permitindo classificá-los como álicos.

5.2.7 SATURAÇÃO POR BASES (V%)

Os valores extremamente baixos da soma de bases (<50%), refletem a pobreza do material de origem (arenito).

O plantio direto apresentou, em seu perfil, os maiores valores de saturação por bases, diferindo estatisticamente das demais áreas estudadas.

Para os demais tratamentos, os quais são considerados álicos, a saturação por bases foi muito baixa ($V < 25\%$), sendo que o plantio convencional não diferiu estatisticamente do florestamento, à exceção da camada superficial (0-5 cm) onde o plantio convencional apresentou-se significativamente mais elevado que o florestamento (figura 13).

A pastagem apresentou os menores valores de saturação por bases ao longo do perfil, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Há uma relação entre saturação por bases e o pH, com a diminuição da saturação por bases ocorre uma acentuada redução do pH.

No plantio direto, a variação da saturação por bases foi grande, havendo valores médios na camada superficial (0-10 cm, $V > 50\%$), os quais passaram para valores baixos na camada de 10-20 cm ($25 < V\% < 50$) e muito baixos ($V < 25\%$) em profundidade; essa grande variação da saturação por bases, é função da aplicação de adubos e corretivos que influenciaram a camada superficial do solo.

Os baixos valores da saturação por bases no horizonte B (<50%) permitem classificá-lo como distrófico. A diferença dos valores da saturação por bases entre os horizontes A e B, classifica o perfil como sendo epieutrófico (SNLCS/EMBRAPA, 1988).

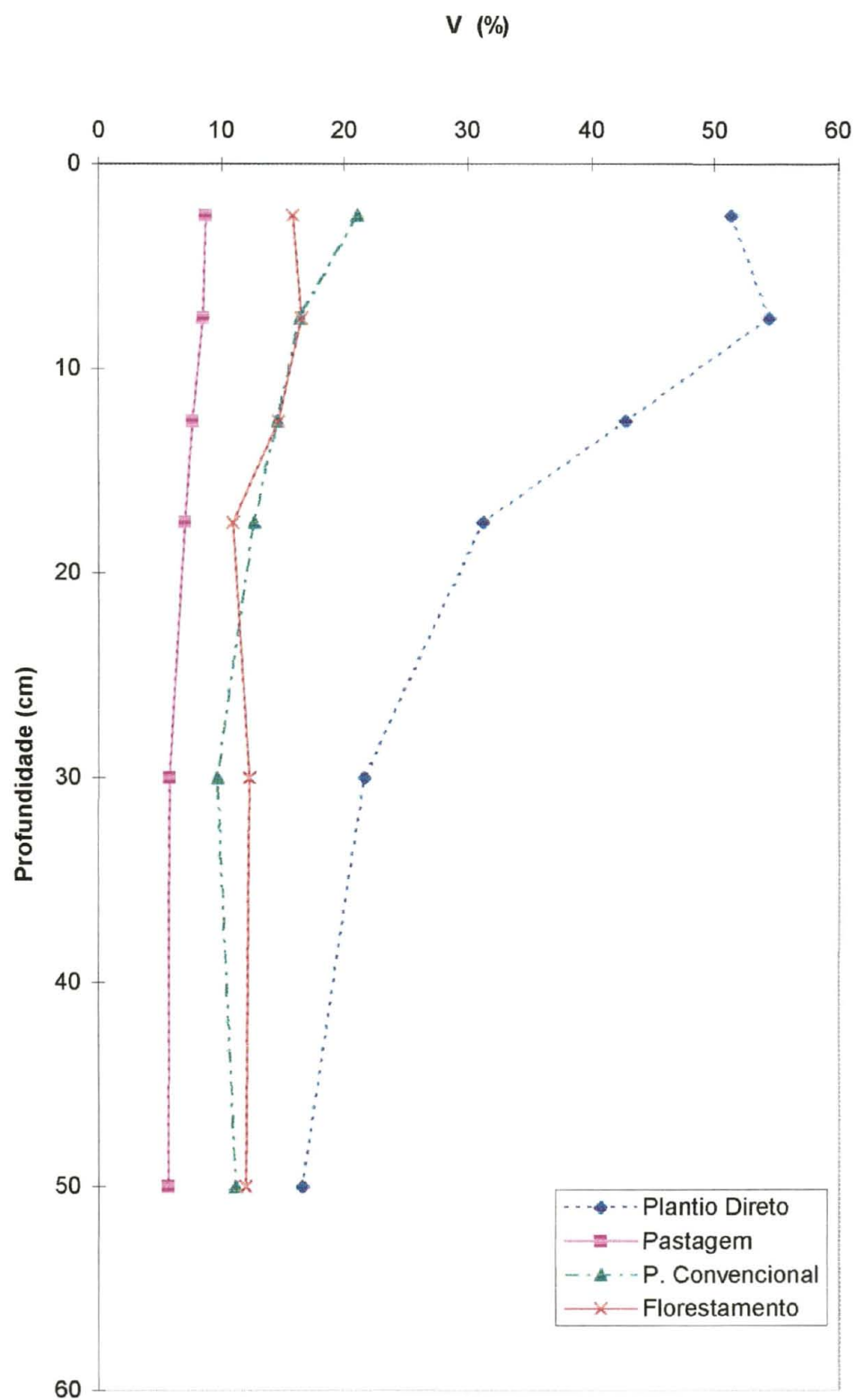


FIGURA 13: Saturação de bases nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

Segundo BRADY (1983), quando um solo com pH 5,0 é submetido à calagem para atingir um pH mais elevado, sofre várias transformações químicas, dentre as quais, a aumentará a porcentagem de saturação de bases.

No plantio direto ocorreu enriquecimento de bases trocáveis (Ca, Mg e K) a nível de superfície e um aumento em subsuperfície, podendo-se deduzir que o uso agrícola, aumentou, ao longo dos anos, a saturação por bases devido ao uso de corretivos e adubos e que o incremento de bases em profundidade promoveu uma redução no teor de alumínio.

Ao longo dos anos, usando adubos contendo sulfatos, nitratos e cloretos, é inevitável um translocamento em profundidade de ânions acompanhados de bases trocáveis, e, no caso do sulfato, favorece a precipitação do alumínio em profundidade. A calagem proporcionou aumento na saturação por bases no solo, elevou o pH, os teores de Ca e Mg trocáveis e diminuiu os teores de alumínio trocável.

5.2.9 SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (m%)

Houve diferença significativa entre os tratamentos, em todas as áreas estudadas.

Os valores da saturação por alumínio aumentaram com a profundidade, devido a maior presença do alumínio trocável no subsolo.

A pastagem apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, seguida pelo plantio convencional, florestamento e plantio direto (figura 14).

Todos os perfis analisados apresentaram saturação por alumínio elevada ($m > 50$), sendo classificados como álicos, à exceção do plantio direto, o qual foi classificado como distrófico ($m < 50\%$).

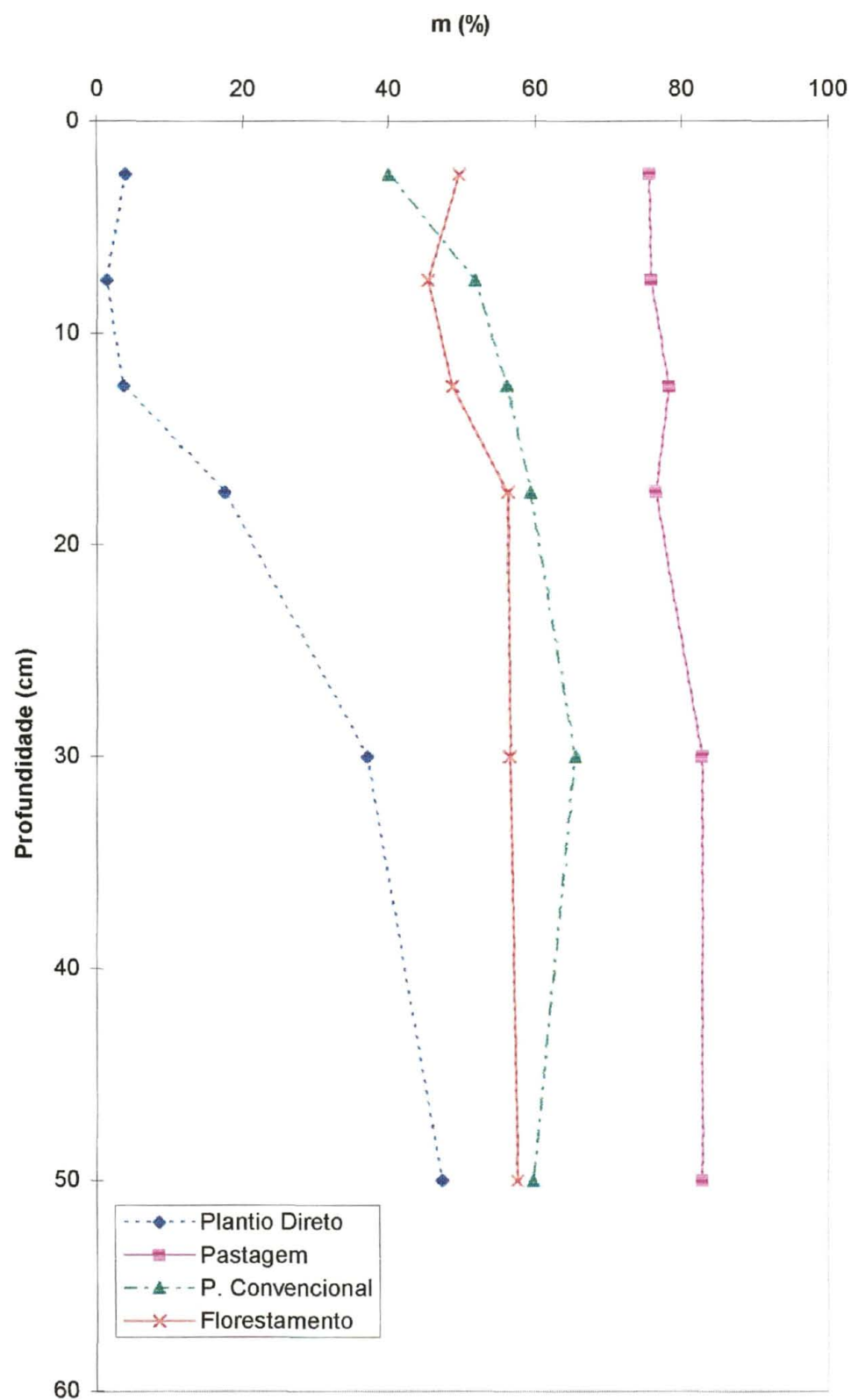


FIGURA 14: Saturação de alumínio nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

A pastagem apresentou altos valores de saturação por alumínio ao longo de todo o perfil ($m > 75\%$), esses valores mais elevados refletem a condição de fertilidade natural do solo, baixa saturação por bases trocáveis e baixos valores de pH do solo, caracterizando a condição de alto conteúdo de alumínio extraível, associados com as maiores quantidades de argila encontradas neste tratamento (figura 7).

Houve diferença significativa entre o plantio convencional e o florestamento, sendo que na camada superficial (0-5 cm), os valores da saturação por alumínio foram mais elevados no florestamento, o qual foi respectivamente 50%, sendo que, nas camadas seguintes, os valores encontrados foram mais elevados no plantio convencional, esta variação nos valores da saturação por alumínio nestes tratamentos, pode estar associado a variação nos teores de cálcio e magnésio, estabelecendo uma relação inversa entre a saturação por alumínio e os teores de cálcio e magnésio.

No plantio direto a saturação por alumínio foi baixa em todo o perfil ($m < 50\%$), com os menores valores em superfície ($m = 4\%$ na camada de 0-5 cm) e os maiores valores em profundidade ($m = 47\%$ na camada de 40-60 cm), caracterizando a baixa condição de alumínio extraível, saturação por bases no horizonte B $< 50\%$ classificando este perfil como distrófico, segundo os critérios adotados pelo SNLCS (EMBRAPA, 1988).

5.2.10 CÁLCIO e MAGNÉSIO

Houve diferença estatística entre os tratamentos.

O plantio direto apresentou os maiores teores de cálcio e magnésio em todo o perfil, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e, dentro deste tratamento, ocorreu uma

concentração destes elementos na camada superficial (0-10 cm) do solo, em função da não incorporação do calcário, o qual aumentou os níveis de cálcio e magnésio trocáveis e reduziu o alumínio trocável no solo (figura 15).

Os teores de cálcio e magnésio estão estreitamente relacionados com o nível de acidez do solo, quanto menor o teor de cálcio e magnésio, o solo estará com excesso de acidez (baixo pH), baixa saturação por bases (V%) e possivelmente com toxidez por alumínio.

Segundo SÁ (1995), estudando um Latossolo Vermelho-Escuro arenoso sob plantio direto, constatou que o calcário em superfície atua até os 10 cm, devido a mineralização lenta e gradual dos resíduos culturais liberados, ácidos orgânicos que podem formar complexos com alumínio e liberação de NO_3^- e SO_4^{2-} que podem deslocar o cálcio.

Segundo MUZILLI (1985), os teores mais elevados de cálcio e magnésio em todo o perfil do plantio direto em relação aos demais tratamentos, evidencia condições que teriam favorecido o deslocamento dos nutrientes em profundidade, decorrente da maior capilaridade e melhor infiltração da água no solo, associado ao emprego de calcário de boa qualidade.

Possivelmente, devido a baixa mobilidade do cálcio, este elemento esteja concentrado nos primeiros 5 cm do perfil, e o magnésio, por ter uma maior mobilidade em relação ao cálcio, esteja distribuído até os 30 cm, resultados semelhantes foram obtidos por vários autores (SÁ, 1995, ALCARDE, 1992).

O plantio convencional apresentou, na camada superficial (0-5 cm), teores mais elevados de cálcio e magnésio ($2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ solo), diferindo estatisticamente do florestamento e da pastagem, os quais foram respectivamente $1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ solo e $1,2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ solo.

No plantio convencional os teores de cálcio e magnésio decresceram com a profundidade, sendo que os maiores teores se concentram na camada arável, os quais foram baixos devido ao pouco tempo de implantação deste sistema, à baixa fertilidade natural do solo

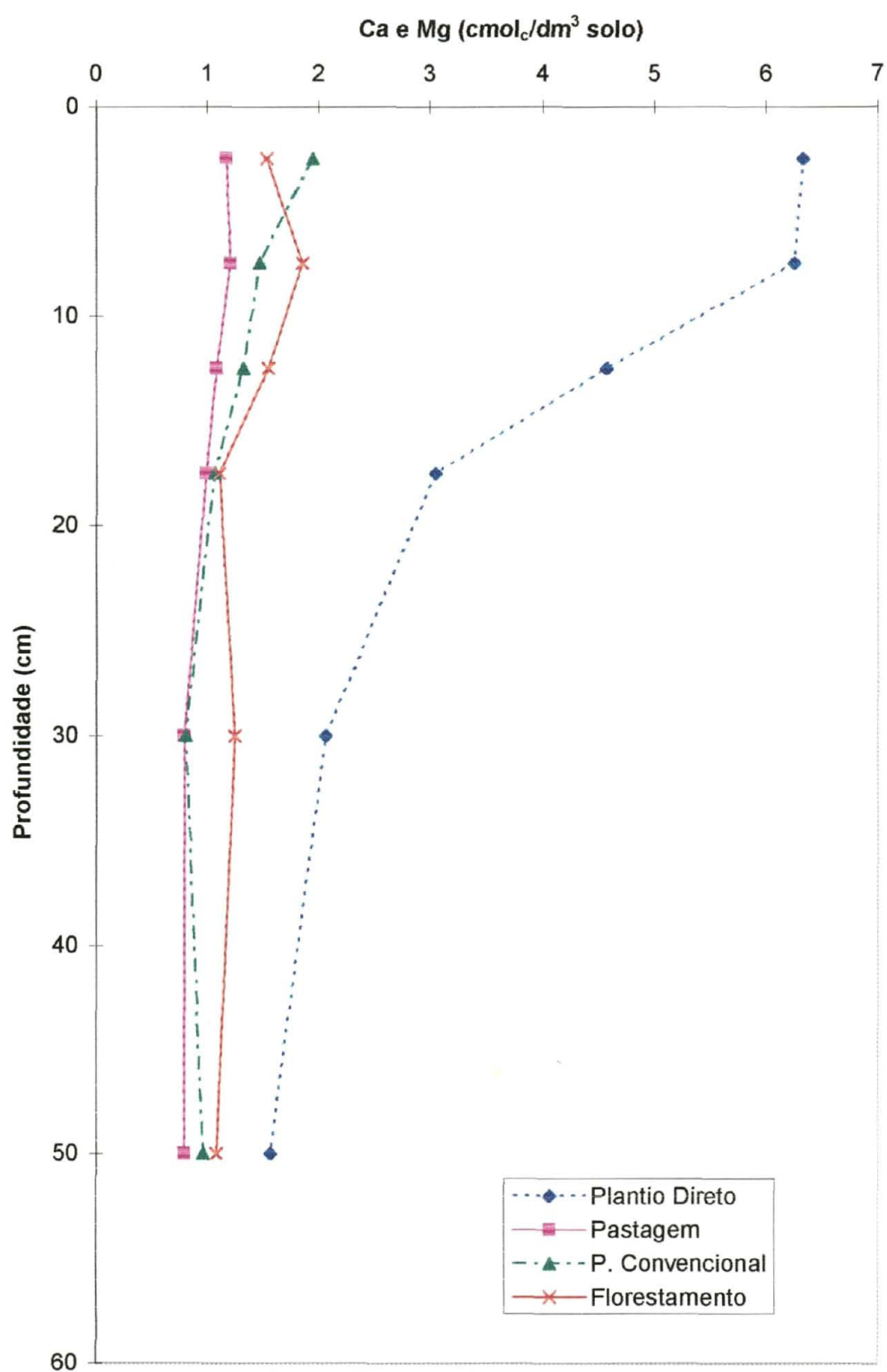


FIGURA 15: Teores de Ca e Mg trocáveis nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

aliada a não aplicação do calcário e, pela exportação de nutrientes, uma vez que a coleta das amostras foi realizada logo após a colheita do arroz. Abaixo da camada arável (0-20 cm), os teores foram superiores apenas aos encontrados na pastagem.

No florestamento, abaixo dos 5 cm de profundidade, estes teores foram mais elevados, diferindo estatisticamente, em relação ao plantio convencional e a pastagem, isto pode estar ocorrendo em razão da absorção do elemento nas camadas mais profundas e do subsequente acúmulo, pela ciclagem do elemento durante a decomposição da matéria orgânica, associado a baixa mobilidade deste elemento e que vai propiciar o acúmulo destes nutrientes na camada superficial do solo.

FERREIRA (1988), observou que em solos mais pobres o conteúdo de bases trocáveis (Ca, Mg e K) na manta orgânica é bem mais baixo do que em solos férteis, sendo esta diferença mais marcante em povoamentos mais velhos.

O florestamento apresentou os maiores teores na camada superficial (0-15 cm) e, abaixo desta, os teores são baixos e diminuem com a profundidade.

A pastagem apresentou em todo o perfil estudado, os menores teores de cálcio e magnésio em relação aos demais tratamentos, os quais são considerados baixos, devido a não aplicação de adubos e corretivos, baixa fertilidade do solo e a exportação de nutrientes através do pastejo pelos animais.

5.2.11 POTÁSSIO TROCÁVEL

Houve diferença estatística entre os tratamentos ao longo de todos os perfis estudados, porém, o potássio se distribuiu de forma semelhante em todos os tratamentos, mostrou uma

concentração maior na superfície do solo (0-15 cm), possivelmente acompanhando a variação da matéria orgânica, tendência essa também observada por MUZILLI (1983); PEIXOTO e ELTZ (1988).

A distribuição em gradiente, diminuindo com a profundidade, foi acentuada para todos os tratamentos, exceto para a pastagem, a qual teve uma distribuição mais homogênea ao longo do perfil (figura 16).

No plantio direto, os maiores teores se encontram em superfície (0-10 cm), havendo um enriquecimento desta camada, decrescendo rapidamente com a profundidade, este acúmulo em superfície pode ser explicado pela falta de revolvimento do solo e pela aplicação de fertilizantes na superfície do solo.

O potássio se distribuiu de forma semelhante nos sistemas de plantio convencional e no florestamento, também houve aumentos na camada superficial (0-10 cm), porém foram menos expressivos em relação ao plantio direto, havendo um acúmulo do nutriente a nível de superfície (0-10 cm).

No plantio convencional, os teores decresceram com a profundidade, sendo que, abaixo da camada arável, apresentou os menores teores de potássio em relação aos demais tratamentos (figura 16).

Atribui-se o gradiente dos teores de potássio na camada arável, no plantio convencional, à adubação potássica utilizada no plantio e à mineralização do elemento contido nos resíduos vegetais; os menores teores deste elemento em relação aos demais tratamentos, explica-se pela exportação via colheita do arroz, pelo pouco tempo de implantação do sistema e pelo baixo teor deste elemento no material de origem.

No florestamento os teores de potássio decresceram de maneira uniforme com a profundidade, segundo BARROS e NOVAIS (1990), os maiores teores de potássio na camada

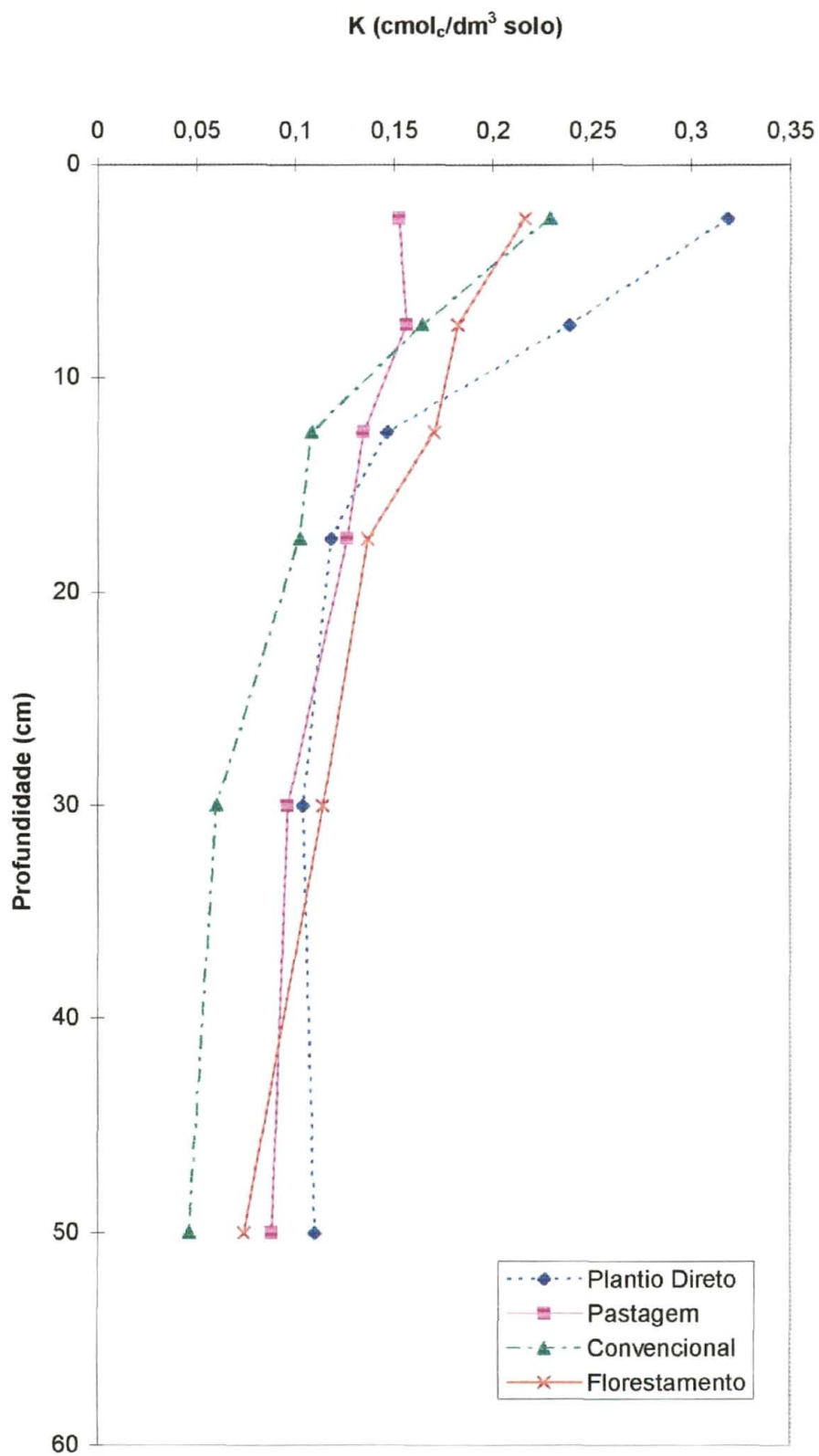


FIGURA 16: Teor de potássio nos solos a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

superficial são decorrentes do processo de ciclagem, através da translocação do nutriente, para as partes em crescimento da planta, e do seu retorno pela decomposição dos componentes da árvore que caem ao solo, processo que se intensifica com a idade do povoamento.

A pastagem apresentou os menores teores de potássio na camada superficial (0-10 cm) em relação aos demais tratamentos, diminuindo com a profundidade, porém, na camada inferior (20-40 cm), apresentou teores mais elevados em relação ao plantio convencional e, abaixo desta camada (40-60 cm) os teores foram mais elevados em relação ao plantio convencional e o florestamento, estes teores mais elevados em profundidade, ocorrem devido a pastagem apresentar textura argilosa, associada a uma CTC mais elevada, o que contribuiu para elevar os teores de potássio trocável em profundidade.

5.2.12 FÓSFORO

Houve diferença estatística entre os tratamentos ao longo de todos os perfis estudados, os teores de fósforo extraível do solo foram afetados pelos sistemas de manejo.

Os tratamentos se comportaram de maneira diferente em relação ao elemento estudado, encontrando-se o maior teor na camada superficial (0-15 cm) do plantio direto (figura 17).

A nível de superfície, o plantio direto apresentou os maiores teores, seguido pelo florestamento, os quais diferiram estatisticamente do plantio convencional e da pastagem, esta apresentando os menores teores entre os tratamentos.

Em profundidade (abaixo dos 20 cm), os teores são iguais para todos os tratamentos, sendo muito baixos, devido a serem solos caulíníticos, associados aos baixos teores desse elemento no material de origem e sua fixação pelos óxidos de ferro e alumínio.

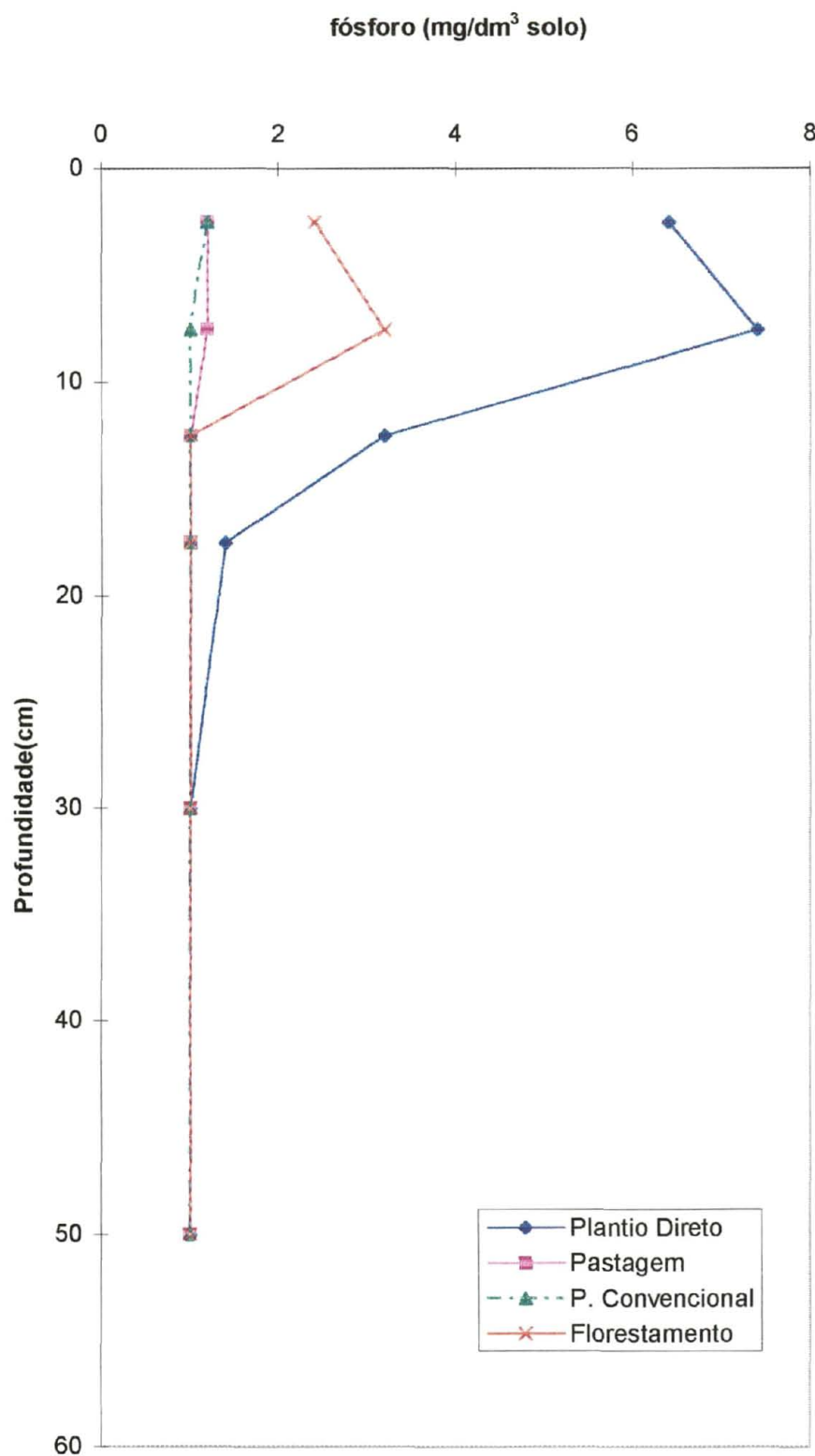


FIGURA 17: Fósforo extraível do solo a várias profundidades sob diferentes tipos de manejos

O plantio direto apresentou teores médios, 7 mg/dm³, na camada superficial (0-10 cm) do solo, na camada inferior (10-15 cm) ocorreu um decréscimo acentuado no teor deste elemento para 3 mg/dm³.

Apesar de serem considerados teores baixos, são mais elevados, em relação a todos os outros sistemas de manejo, devido: à adubação e a calagem que diminuiu os teores de alumínio, a menor mobilização do solo e aos maiores teores de matéria orgânica encontrados em superfície, fatores estes que contribuem para aumentar a concentração do fósforo no plantio direto.

Este acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo sob plantio direto, também se explica pela imobilidade e baixa solubilidade de seus compostos, sobretudo em solos de natureza ácida e contendo altos teores de alumínio.

No florestamento, os maiores teores concentram-se na camada superficial (0-15 cm) do solo e são devidos à ciclagem de nutrientes e a micorrização, a qual pode ocorrer naturalmente no campo, tornando-se mais eficiente em solos pobres, resultados semelhantes foram obtidos por BARROS e NOVAIS (1990).

O teor de fósforo na camada superficial (0-5 cm) foi de 2 mg/dm³, passando para 3 mg/dm³ na camada inferior (10-15 cm) e, abaixo desta camada, os valores são baixos e se mantêm constantes com a profundidade (1 mg/dm³).

Os menores teores de fósforo encontrados na camada superficial do solo sob florestamento (0-5 cm), podem ser explicados pela grande quantidade de raízes finas encontradas nesta camada, o que, provavelmente, leva à absorção dos nutrientes antes que eles alcancem o solo.

Segundo BARROS e NOVAIS (1990), a ocorrência de teores de fósforo mais elevados na camada intermediária (10-15 cm), pode ser explicada pela micorrização, a qual atua na liberação de fósforo de compostos que contenham fosfato insolúvel de ferro e alumínio.

A pastagem e o plantio convencional se comportaram de maneira semelhante, ocorrendo um pequeno aumento nas camadas superficiais (0-10 cm na pastagem e 0-5 cm no convencional) e, abaixo destas camadas, os teores do fósforo mantiveram-se constantes; no caso do plantio convencional, a maior mobilização do solo aumenta a sua adsorção, o que ocorre com maior intensidade quando ele é misturado ao solo.

O maior contato entre o adubo e as partículas do solo decorrente da movimentação por ocasião do preparo, poderia explicar a menor disponibilidade do nutriente no plantio convencional, por aumentar a sua fixação.

Apesar dos teores de fósforo não terem apresentado diferença entre a pastagem e o plantio convencional, estes teores são mais limitantes na pastagem devido ao maior teor de argila encontrado neste tratamento, o que favorece uma maior adsorção do fósforo.

Os baixos teores de fósforo ($< 3,0 \text{ mg P/dm}^3$ de solo), encontrados nesses sistemas de manejo (pastagem e plantio convencional), tornam a adubação fosfatada bastante promissora.

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Profundidade	pH (1:2,5)	Complexo sortivo (cmol./dm³ solo)										V	m	P	C
cm	CaCl₂ 0,01 M	Ca + Mg	K	Al	H	H+Al	S	CTC potencial	CTC efetiva	CTC mineral	CTC orgânica	%		mg/dm³	g/dm³
Perfil 1 (Plantio direto)															
00-05	4,6	6,3	0,32	0,3	6,0	6,3	6,6	12,94	6,90	10,36	10,62	51	4	6,0	23,60
05-10	4,8	6,2	0,24	0,1	5,3	5,4	6,4	11,94	6,50	8,16	10,17	54	1	7,0	22,60
10-15	4,9	4,6	0,15	0,1	6,2	6,3	4,7	11,04	4,80	10,93	8,64	43	4	3,0	19,20
15-20	4,7	3,0	0,12	0,6	6,4	7,0	3,1	10,16	3,70	13,40	7,20	31	17	1,0	16,00
20-40	4,5	2,0	0,10	1,2	6,6	7,8	2,1	10,00	3,30	17,00	5,94	21	37	1,0	13,20
40-60	4,3	1,6	0,11	1,5	6,9	8,4	1,7	10,12	3,20	20,65	5,31	16	47	1,0	11,80

Perfil 2 (Pastagem)															
00-05	4,0	1,2	0,16	4,0	10,0	14,0	1,4	15,30	5,40	15,00	9,18	9	75	1,2	20,40
05-10	4,0	1,2	0,15	4,2	10,5	14,7	1,4	16,02	5,60	17,16	9,00	8	76	1,2	20,00
10-15	4,0	1,1	0,12	4,3	10,7	15,0	1,2	16,14	5,50	16,32	9,18	8	78	1,0	20,40
15-20	4,1	1,0	0,13	3,8	10,9	14,7	1,1	15,78	4,90	15,53	9,90	7	76	1,0	20,20
20-40	4,0	0,8	0,10	4,2	10,2	14,4	0,9	15,32	5,10	18,54	7,29	6	83	1,0	16,20
40-60	4,0	0,8	0,09	4,1	10,4	14,5	0,9	15,34	5,00	21,89	5,58	6	83	1,0	12,40

Perfil 3 (Plantio convencional)															
00-05	4,2	2,0	0,23	1,4	6,8	8,2	2,2	10,38	3,60	3,96	9,64	21	40	1,2	21,42
05-10	4,2	1,5	0,16	1,7	6,6	8,3	1,7	9,94	3,40	4,78	9,00	16	52	1,0	19,96
10-15	4,1	1,3	0,11	1,8	6,7	8,5	1,4	9,90	3,20	8,46	8,32	14	56	1,0	18,54
15-20	4,2	1,1	0,10	1,7	6,4	8,1	1,2	9,28	2,90	11,22	7,15	13	59	1,0	15,88
20-40	4,2	0,8	0,06	1,6	6,5	8,1	0,9	8,94	2,50	16,53	5,58	10	65	1,0	12,36
40-60	4,2	1,0	0,05	1,5	6,5	8,0	1,1	8,98	2,60	21,91	4,36	11	60	1,0	9,68

Perfil 4 (florestamento)															
00-05	4,1	1,5	0,22	1,7	7,6	9,3	1,7	11,04	3,40	20,26	7,60	16	50	2	16,88
05-10	4,0	1,8	0,18	1,7	8,6	10,3	2,0	12,30	3,70	21,26	8,37	16	45	3	18,64
10-15	4,1	1,5	0,17	1,6	8,4	10,0	1,7	11,70	3,30	21,24	8,05	15	49	1	17,88
15-20	4,0	1,1	0,14	1,6	8,5	10,1	1,2	11,36	2,80	25,66	6,66	11	56	1	14,84
20-40	4,1	1,2	0,11	1,7	7,7	9,4	1,3	10,76	3,00	27,28	5,58	12	56	1	12,36
40-60	4,0	1,1	0,07	1,5	7,0	8,5	1,2	9,64	2,70	28,44	4,14	12	57	1	9,20

5.3 ANÁLISES MINERALÓGICAS

Nos difratogramas da fração argila, relativos à área de plantio direto (Figura 18), o pico 1,4 nm permanece praticamente inalterado nos tratamentos Mg glicol e Mg 25 °C, respectivamente 1,380 nm e 1,424 nm. Já nos tratamentos K 25°C e K 350°C, o referido pico perde a estabilidade com os tratamentos do K e com o aumento da temperatura, sofrendo colapso e produzindo as bandas: 1,300 a 1,380 nm e 1,300 a 1,470 nm, respectivamente; no tratamento K 550°C a mudança produzida é maior ainda, ocorrendo um forte colapso para 1,101 nm. Isto indica a presença da VHE (Vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas), devido a sua incapacidade de manter o reflexo 1,4 nm após os tratamentos com K 350°C e K 550°C e também pela ausência de contração do referido pico para 1,02 nm no tratamento com K 25°C, de acordo com BARNHISEL & BERTSCH (1989, p. 729); infere-se que o grau de preenchimento das entrecamadas é relativamente baixo, pois a instabilidade dos reflexos inicia-se com o tratamento K 25°C e, também, pela magnitude das mudanças em aumentar com a temperatura.

Igualmente na área correspondente ao plantio convencional (Figura 20), a formação de banda já ocorre no tratamento K 25°C, sugerindo um baixo preenchimento entrecamadas.

Na pastagem (Figura 19) a formação de banda ocorre somente nos tratamentos K 350°C e K 550°C, indicando um maior preenchimento entrecamadas comparativamente as áreas de plantio direto e plantio convencional.

No florestamento (Figura 21) os picos apresentam uma estabilidade maior nos tratamentos K 25°C e K 350°C, havendo formação de banda somente no tratamento K 550°C, sugerindo maior preenchimento entrecamadas que nas demais áreas

A presença da caulinita (Ka) é indicada pelos seus espaçamentos interplanares de 1ª e 2ª ordem respectivamente, 0,713 e 0,357 nm (Figuras 18 e 19) e confirmada pelo desaparecimento desses picos no tratamento K 550°C. Os picos da Ka apresentam intensidade moderada e a presença de ombros sugerindo moderada cristalinidade.

A presença de gibbsita (Gb) (Figura 18) é indicada pelos reflexos que variam de 0,47 a 0,48 nm os quais desaparecem com o tratamento K 350°C. Infere-se que a Gb apresenta baixos teores, em função da intensidade baixa dos seus reflexos; e que seus teores absolutos são > 50 g/kg, por ser detectada pela DRX, de acordo com JACKSON (1969), citado por HSU (1989, p. 340).

A presença de mica (Mi) é indicada por reflexão de 1ª ordem de 1,040 nm, que apresenta muito baixa intensidade e não está presente em todos os tratamentos, sugerindo baixa quantidade. Este mineral é herdado da rocha e possivelmente o precursor da VHE, cuja formação é favorecida por condições ácidas e álicas uma vez que o potássio entre camadas da mica é substituído por hidróxi-Al.

De acordo com a caracterização mineralógica, pode-se concluir que as áreas estudadas possuem elevado grau de homogeneidade mineralógica e que os principais constituintes da fração argila são a caulinita (Ka), Vermiculita Hidróxi Alumínio entre camadas (VHE), Gibsita (Gb) e Mica (Mi).

Como seria de se esperar, os diferentes tipos de uso não foram capazes de alterar mineralogicamente as áreas estudadas.

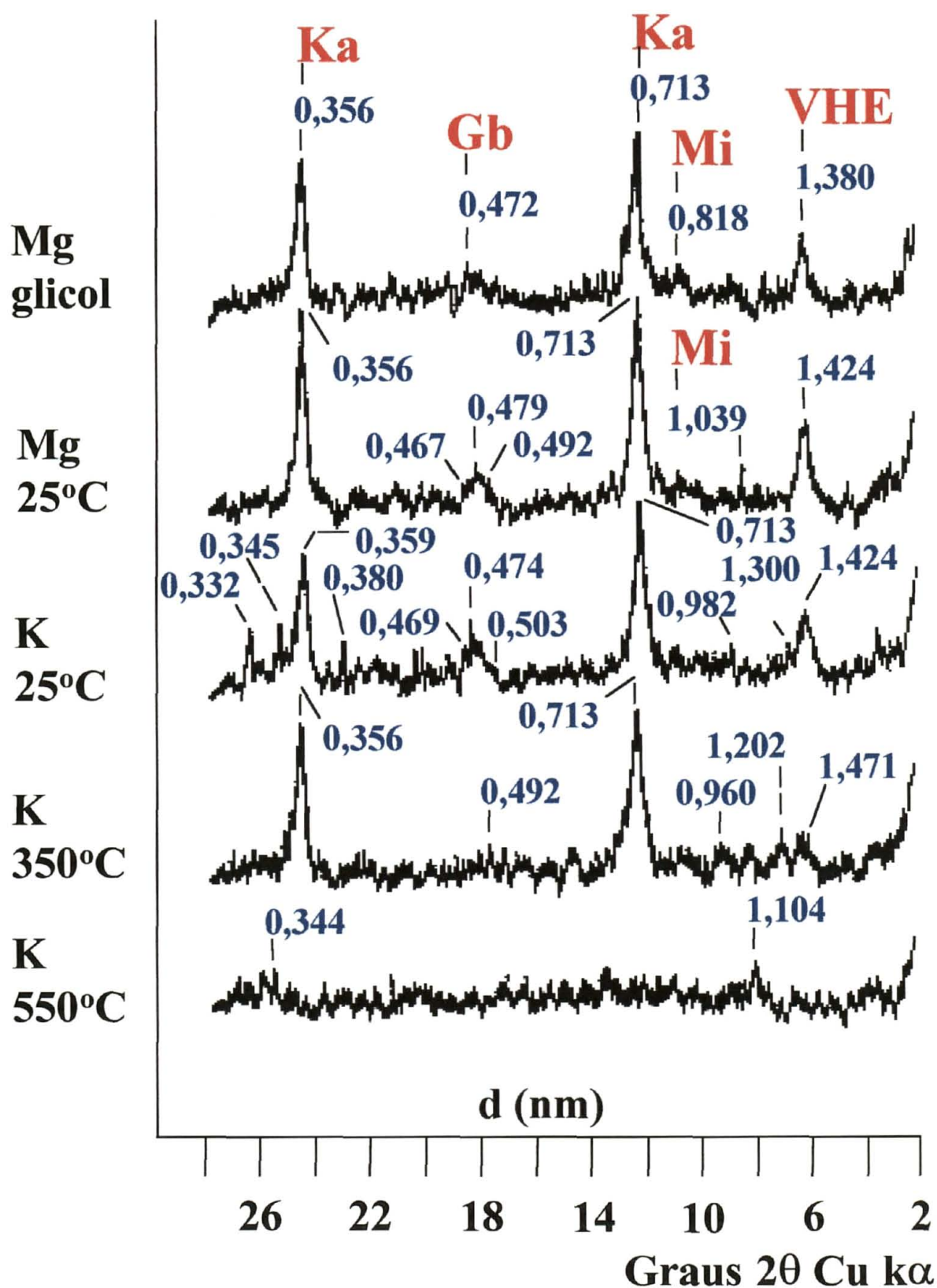


FIGURA 18: Difrátogramas de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte Bi do plantio direto

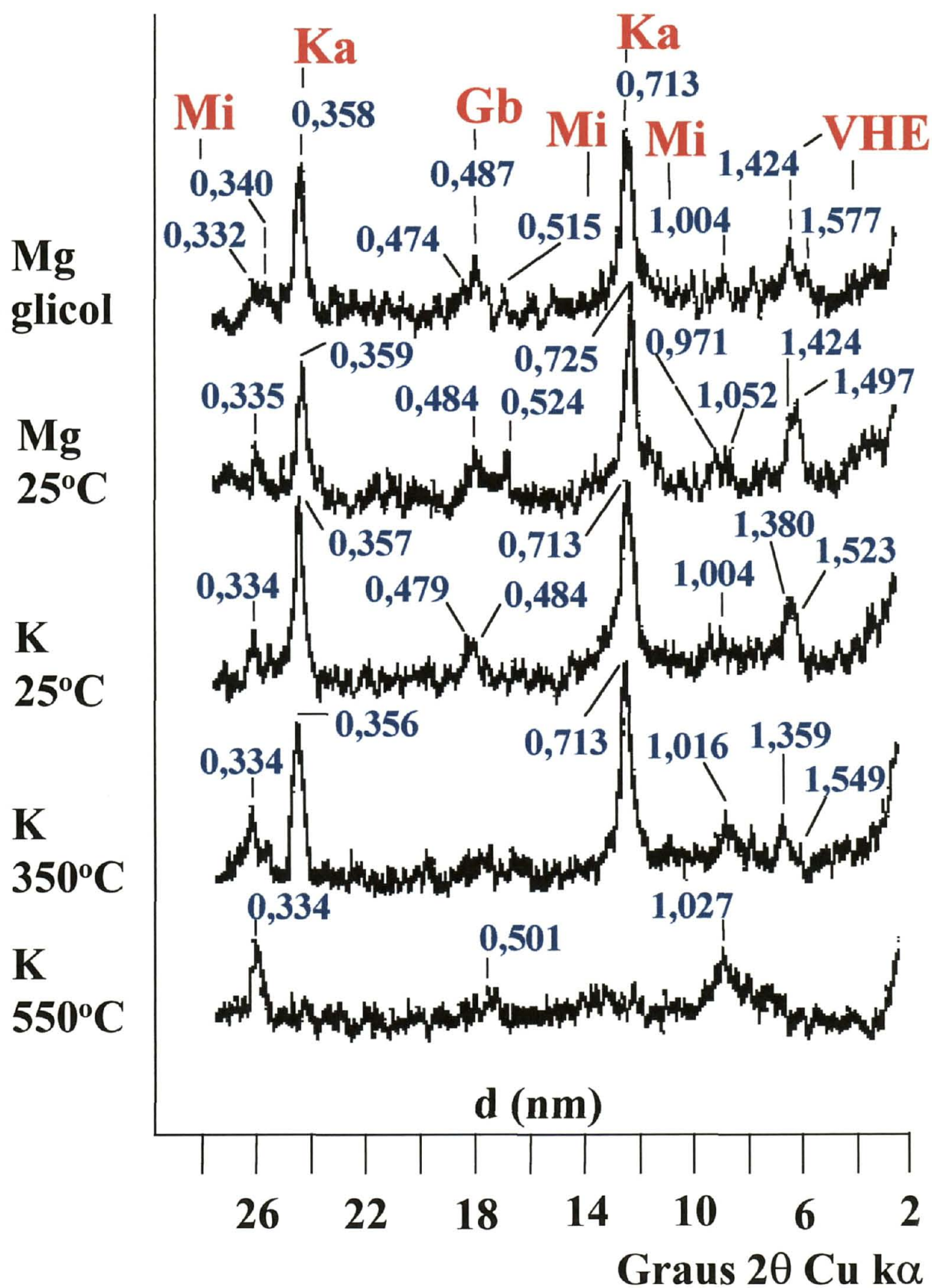


FIGURA 19 - Difratoigramas de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte Bi da pastagem

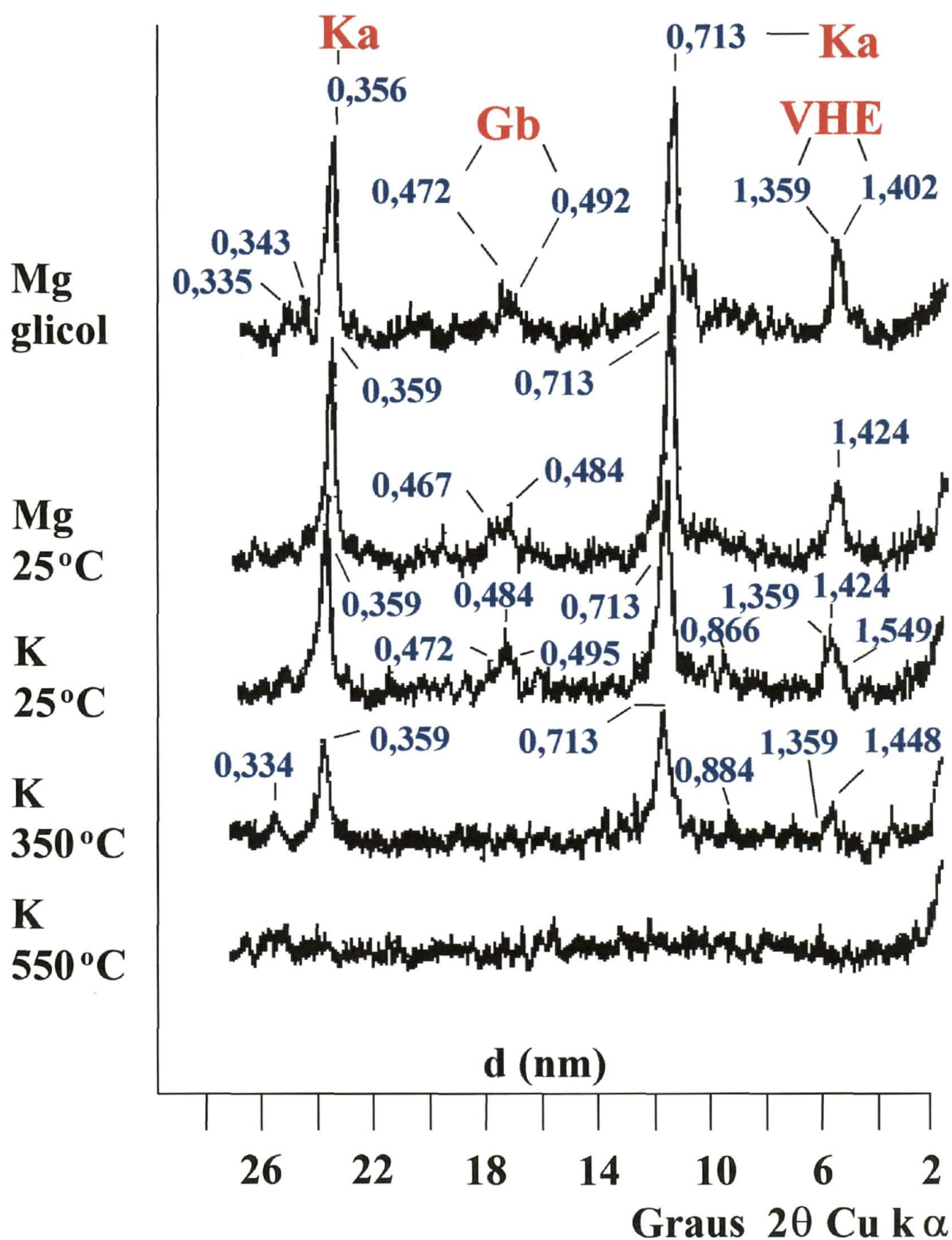


FIGURA 20 - Difratoigramas de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte Bi do plantio convencional

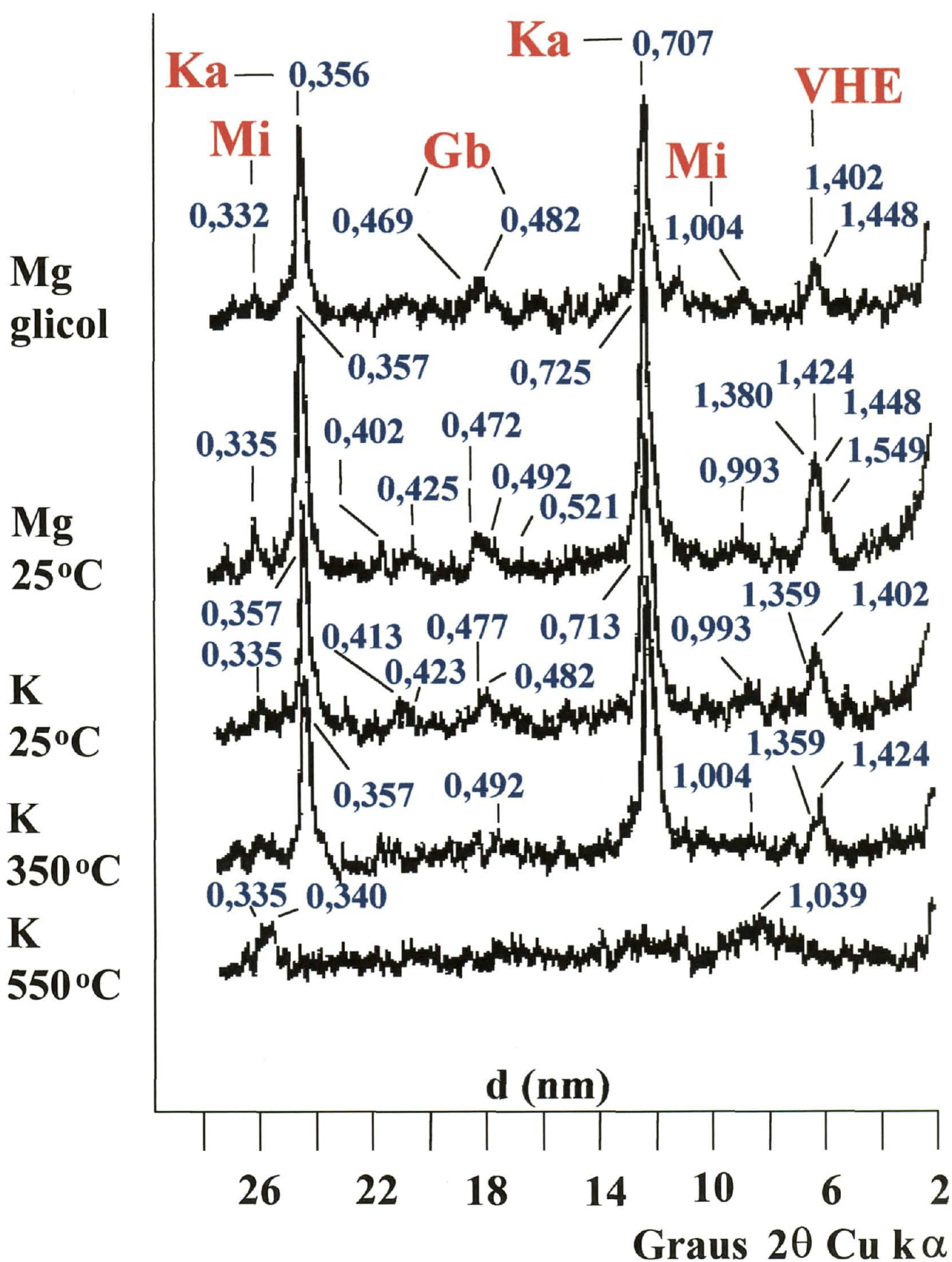


FIGURA 21 - Difrátogramas de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte Bi do florestamento

5.4 ANÁLISES MORFOLÓGICAS

As descrições morfológicas dos perfis examinados em trincheiras abertas em cada uma das áreas estudadas encontram-se nos Anexos.

Os perfis apresentaram horizonte A com espessura suficiente para um bom desenvolvimento radicular, respectivamente 60 cm (plantio direto), 72 cm (pastagem), 40 cm (plantio convencional) e 65 cm (florestamento).

O horizonte A possui as maiores espessuras nas áreas de pastagem (72 cm) e florestamento (65 cm), o que poderia ser explicado pela manutenção das características originais do solo, pela maior retenção de água e o maior volume do sistema radicular, o que vai ocasionar uma maior aporte de material orgânico, protegendo-o dos efeitos da erosão e uma menor oxidação da matéria orgânica.

A espessura do horizonte superficial apresentou pequena diferença, a espessura do horizonte A1 variou de 20 cm (plantio direto e pastagem) até 25 cm no Ap (plantio convencional); apesar do perfil sob plantio convencional ter a maior espessura do horizonte superficial. Quando se considera o horizonte A como um todo, este perfil passa a ter a menor espessura (40 cm no perfil plantio convencional contra 60 cm no plantio direto e 72 cm na pastagem), o que pode ser atribuído ao uso agrícola e ao revolvimento do solo, o que causa uma maior oxidação do material orgânico.

No perfil sob plantio convencional ocorre a formação do horizonte Ap pelo revolvimento através da aração e gradeação, constituindo-se na principal diferença entre este e os demais perfis.

O perfil sob florestamento apresenta horizonte orgânico com 12 cm de espessura, cuja parte superior encontram-se acículas soltas não fragmentadas, seguidas de uma camada de

acículas rompidas e algumas desbotadas e agregadas por hifas, sendo que por último ocorre material orgânico fragmentado envolto por grande número de raízes finas, sendo este o limite entre o horizonte orgânico com a superfície do solo mineral, fato observado também por REISSMANN (1983).

Pode-se observar uma diferença evidente nas colorações dos perfis, a pastagem apresenta uma coloração mais vermelha-amarela (que indica a presença de goethita) do que nos outros 3 perfis onde as cores são mais vermelhas, indicando um teor mais elevado de hematita.

O horizonte A dos perfis sob plantio direto, plantio convencional e florestamento têm coloração uniforme, possuindo a matiz 5YR com valor e croma nas faixas de 2,5-4/2-4, (bruno-avermelhado-escuro), na área de pastagem constatou-se matiz 10YR e croma variando de 2-3/1-3; essa coloração mais clara é possivelmente devido a maior presença de goethita.

O horizonte (B) apresenta cores muito semelhantes nas áreas de plantio direto, convencional e florestamento variando de vermelho escuro a bruno avermelhado escuro enquanto que na área de pastagem a cor é bruno forte a vermelho amarelado possivelmente devido a maior presença de goethita.

A estrutura do horizonte A superficial é muito semelhante, sendo: forte pequena a média granular (plantio direto e florestamento), moderada pequena a média granular no horizonte A (pastagem e plantio convencional), observando-se uma tendência ao melhor desenvolvimento da estrutura granular em consequência do abundante sistema radicular fasciculado que favorece este tipo de estrutura.

O horizonte Ap do perfil sob plantio convencional apresenta estrutura variando de fraca pequena granular a fraca pequena blocos subangulares devido ao revolvimento do solo por ocasião do preparo para o plantio.

No horizonte (B) a estrutura varia de forte pequena granular.

Também pode-se observar uma diferença na consistência entre os perfis sendo que o solo sob pastagem apresenta consistência mais plástica e pegajosa devido a maior quantidade de argila, outra diferença importante refere-se à grande friabilidade constatada nas condições de florestamento.

Observou-se uma maior quantidade de raízes nas camadas superficiais de todos os perfis, sendo que:

No plantio direto ocorreu uma maior concentração de raízes, de vários diâmetros, na camada superficial do solo (0-10 cm), havendo uma diminuição na quantidade e no diâmetro das raízes na camada inferior (10-20 cm) e, abaixo desta camada, ocorreu uma diminuição acentuada, as raízes apareceram em pequena quantidade e muito finas até os 60 cm de profundidade.

A maior quantidade de raízes na camada superficial (0-10 cm) do plantio direto, poderia ser atribuído aos maiores teores de cálcio e magnésio associados aos baixos teores de alumínio tóxico, encontrados nesta camada e que têm efeito positivo no crescimento radicular.

A pastagem apresentou maior quantidade de raízes em relação ao plantio direto e convencional, havendo uma concentração de raízes nos primeiros 30 cm do perfil; após essa profundidade ocorreu uma diminuição acentuada no diâmetro e na quantidade de raízes até a profundidade de 117 cm, abaixo da qual não houve mais raízes.

Apesar da presença do alumínio trocável em níveis tóxicos para a maioria das culturas, a maior quantidade de raízes se deve a tolerância da pastagem nativa à toxicidade causada por este elemento e a sua capacidade de translocar o fósforo da raiz para a parte aérea na presença do alumínio.

O solo sob plantio convencional apresentou morfologia semelhante à pastagem ocorrendo uma concentração na camada superficial (0 a 10 cm), porém em quantidades inferiores ao plantio direto, o que foi atribuído ao menor pH do solo e à presença de alumínio tóxico em níveis elevados, havendo uma diminuição mais acentuada na quantidade de raízes na camada inferior, sendo que as raízes ocorreram até a profundidade de 35 cm, estando ausentes abaixo desta profundidade.

O florestamento apresentou maior quantidade de raízes em todo o perfil em relação aos demais tratamentos; ocorreu concentração na camada superficial (0-12 cm) apresentando muitas raízes de vários diâmetros. Na camada inferior (10-65 cm) as raízes são comuns e se mantêm constantes, porém em menor quantidade mas com diâmetro maior comparativamente à camada superior; em profundidade (abaixo dos 65 cm) a quantidade de raízes foi pouca, resultados semelhantes foram obtidos por KAHIL (1986).

Algumas diferenças encontradas nas características morfológicas dos solos das áreas estudadas são pertinentes à própria variabilidade espacial sendo o exemplo mais evidente o relacionado com as variações em relação à coloração.

Como efeitos morfológicos considerados como devido ao tipo de uso pode-se ressaltar:

- Geração de horizonte Ap a partir da porção superior do horizonte A1 original, evidenciado morfológicamente por transição ondulada e pela presença de restos culturais ao longo do mesmo;

- Formação de horizonte orgânico sobre o horizonte A1 original sob vegetação de gramíneas, constituído por resíduos vegetais de pinus principalmente acículas e, em menor quantidade, galhos e cones;

- Formação de liteira em plantio direto constituída por restos culturais;

- Maior friabilidade nas condições de florestamento.

5.5 ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA

Confirmando a análise granulométrica, o exame microscópico também detectou predominância da fração grosseira (areias) em todas as áreas estudadas. Tanto as areias como o silte são constituídos basicamente por quartzo que se apresenta intensamente fissurado. Essas fissuras, bastante nítidas, indicam intemperismo e estão preenchidas por material coloidal (figura 24).

As áreas estudadas apresentaram os constituintes do solo (sólidos poros) organizados segundo três tipos básicos de arranjo (trama): porfirica, granóidica e grânica.

No arranjo ou trama do tipo porfirica, as partículas grosseiras acham-se distribuídas em uma matriz de partículas mais finas, os constituintes estão intimamente associados formando uma massa com poucos macroporos do tipo aplainados e cavidades, a comunicação entre os poros é limitada, induzindo a uma drenagem mais moderada (figura 26).

A trama do tipo grânica é aquela onde os constituintes estão organizados em agregados individualizados (grãos isolados) circundados por poros intercomunicantes (figuras 22 e 29).

Na trama do tipo granóidica os constituintes estão dispostos em agregados coalescentes rodeados por poros comunicantes (figuras 25 e 29) e ocorre associada a trama do tipo grânica.

5.5.1. PLANTIO DIRETO

A camada superficial (0-10 cm) é caracterizada pela presença marcante de arranjo do tipo grânica-granóidica, na profundidade correspondente à camada entre 10 e 20 cm, ocorre

uma reorganização dos constituintes, levando à formação de arranjo do tipo porfirica (figura 22).

A partir dos 20 cm, constata-se novamente a repetição da organização que caracteriza a camada superficial, ou seja, grânica-granóidica, permanecendo assim ao longo do perfil, essa organização na camada compreendida entre 10 e 20 cm, contribuiu para uma modificação na densidade e conseqüentemente na porosidade, indicando a presença de uma camada com maior grau de compactação.

A atividade biológica é notável e se expressa pela presença marcante de canais preenchidos por pelotas fecais, provavelmente originada de minhocas.

Canais e raízes são muito freqüentes, principalmente na camada superior, o que sugere certa restrição à penetração de raízes em profundidade, sendo que a presença de restos culturais (figura 23), em diversos estágios de decomposição, é muito abundante principalmente na camada mais superficial do solo (0-5 cm).

5.5.2. PASTAGEM

A análise micromorfológica demonstrou que nessa área a camada superior (0-20 cm), apresenta arranjo do tipo porfirica-granóidica atravessada por poros aplainados irregulares e intercomunicantes (figura 25). Esse tipo de arranjo reflete os valores mais elevados de densidade apresentados nessa camada (figura 2), evidenciando condição de área mais compactada, o que vem a ser o resultado da pressão exercida pelo gado.

Observou-se, também, reduzida atividade biológica demonstrada pelo pequeno número de câmaras e canais e material retrabalhado pela fauna (pelotas fecais).

A partir da profundidade de 20 cm, observou-se a mudança no tipo de trama para grânica-granóidica com poros de empilhamento compostos (figura 25), esta trama auxilia na explicação da presença de estrutura forte granular e em blocos constatada na macromorfologia e demonstra que essa região não foi afetada de maneira significativa pela compactação, a qual ficou restrita apenas à porção superficial.

A maior frequência de câmaras e canais nessa porção do solo demonstram atividade biológica mais intensa, provavelmente devido a uma condição de maior porosidade e aeração.

5.5.3. PLANTIO CONVENCIONAL

Nesta área ocorre a dominância do arranjo do tipo porfirica, atravessada por poros aplainados irregulares, nos primeiros 20 cm do perfil do solo (figura 26), a partir dessa profundidade ocorre a organização do tipo grânica-granóidica com poros de empilhamento composto, a qual permanece inalterada até a maior profundidade amostrada.

A trama representativa da parte superficial indica certo grau de compactação, a qual também foi observada na pastagem, sendo evidenciada por maior densidade e menor porosidade, além do que, ocorreu mudança brusca a partir dos 20 cm, para um arranjo constituído por agregados isolados e coalescentes e, conseqüentemente, mais porosos.

Observou-se, ainda, presença de restos culturais, predominantes na parte superficial (figura 28).

Numa análise comparativa entre as diversas áreas, constatou-se diferenças significativas, ocorrendo uma maior quantidade de canais e atividade biológica mais intensa no plantio direto, na área do plantio convencional constatou-se menor atividade biológica, (figura 27), enquanto que na área do pinus observou-se maior quantidade de material coloidal (argila),

o qual está de acordo com os resultados da análise granulométrica, também foi observado, na área de pinus, maior porosidade com uniformidade ao longo do solo.

As áreas, sob pastagem e plantio convencional, evidenciaram maior compactação em superfície, sendo que na primeira por influência do gado enquanto que a segunda por ação de implementos agrícolas.

5.5.4. FLORESTAMENTO

Não houve diferença do tipo de arranjo ao longo do perfil, sendo representado pelo tipo intermediário grânica-granóidica (figura 29).

A presença de um mesmo tipo de organização ao longo do perfil, demonstra que o mesmo não sofreu modificações por atividades de manejo.

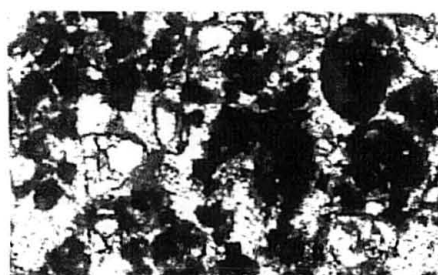
Este tipo de trama, onde dominam poros de empilhamento composto resultantes do empilhamento de agregados, é responsável pela baixa densidade do solo, constatada em relação as demais áreas estudadas (figura 2), indicando maior macroporosidade.

É de se ressaltar a abundância de canais intercomunicantes e câmaras preenchidas por material originado ou retrabalhado por influência de atividade biológica (pelotas fecais) (figura 29).

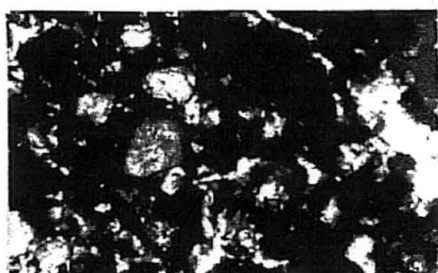
Observou-se, ainda, elevada quantidade de raízes de diversos tamanhos sendo, porém, mais abundantes na camada superficial, conforme descrição da macromorfologia.



0-5 cm: trama grânica-granóidica



5-10 cm: trama grânica-granóidica



10-20 cm: trama porfirica
(compactação)



20-30 cm: trama grânica-granóidica



30-40 cm: trama grânica-granóidica

Figura 22: Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de plantio direto (aumento de 15X): material coloidal (partes escuras); poros (partes claras e tortuosas); grãos de quartzo (partes cinzas).



Figura 23: Imagens de seções delgadas em área de plantio direto, na camada 0-5 cm, mostrando a presença de restos vegetais (aumento 15X).

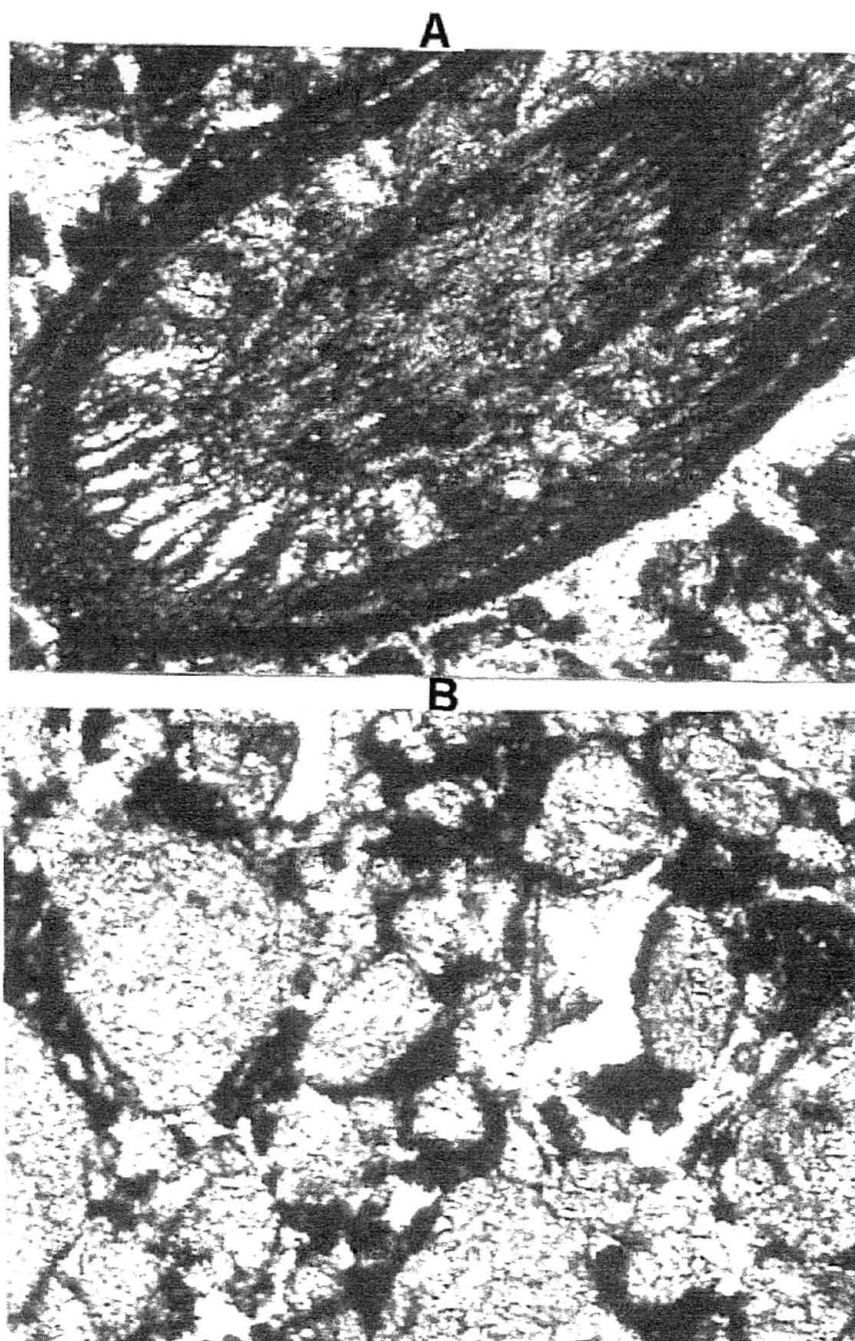
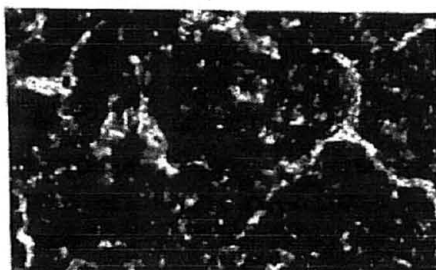


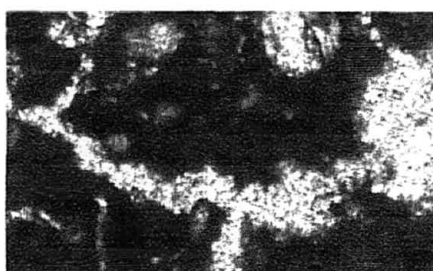
Figura 24: Imagens de seções delgadas em área de plantio direto (camada de 5-10 cm) mostrando: A)-corte transversal em raiz; B)-trama grânica, destacando-se a predominância de material grosseiro (quartzo) sobre o material coloidal (partes escuras), as partes claras são os poros (aumento 30X).



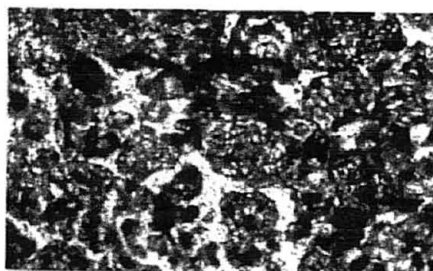
0-5 cm: trama porfírica (compactação)
poros aplainados (meias luas)
intercomunicantes



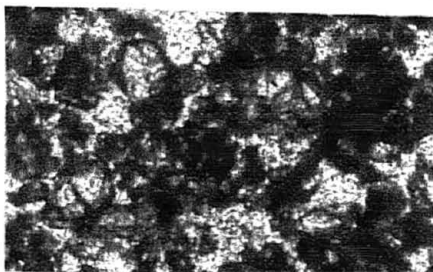
5-10 cm: trama porfírica (compactação)
poros aplainados (meias luas)
intercomunicantes



10-20cm:trama porfírica (compactação)
poros aplainados (meias luas)
intercomunicantes



20-30 cm: trama grânica-granóidica
poros de empilhamento
composto (baixa densidade)



30-40 cm: trama grânica-granóidica
poros de empilhamento
composto (baixa densidade)

Figura 25: Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de pastagem (aumento de 15X); material coloidal (partes escuras); poros (partes claras e tortuosas); grãos de quartzo (partes cinzas).

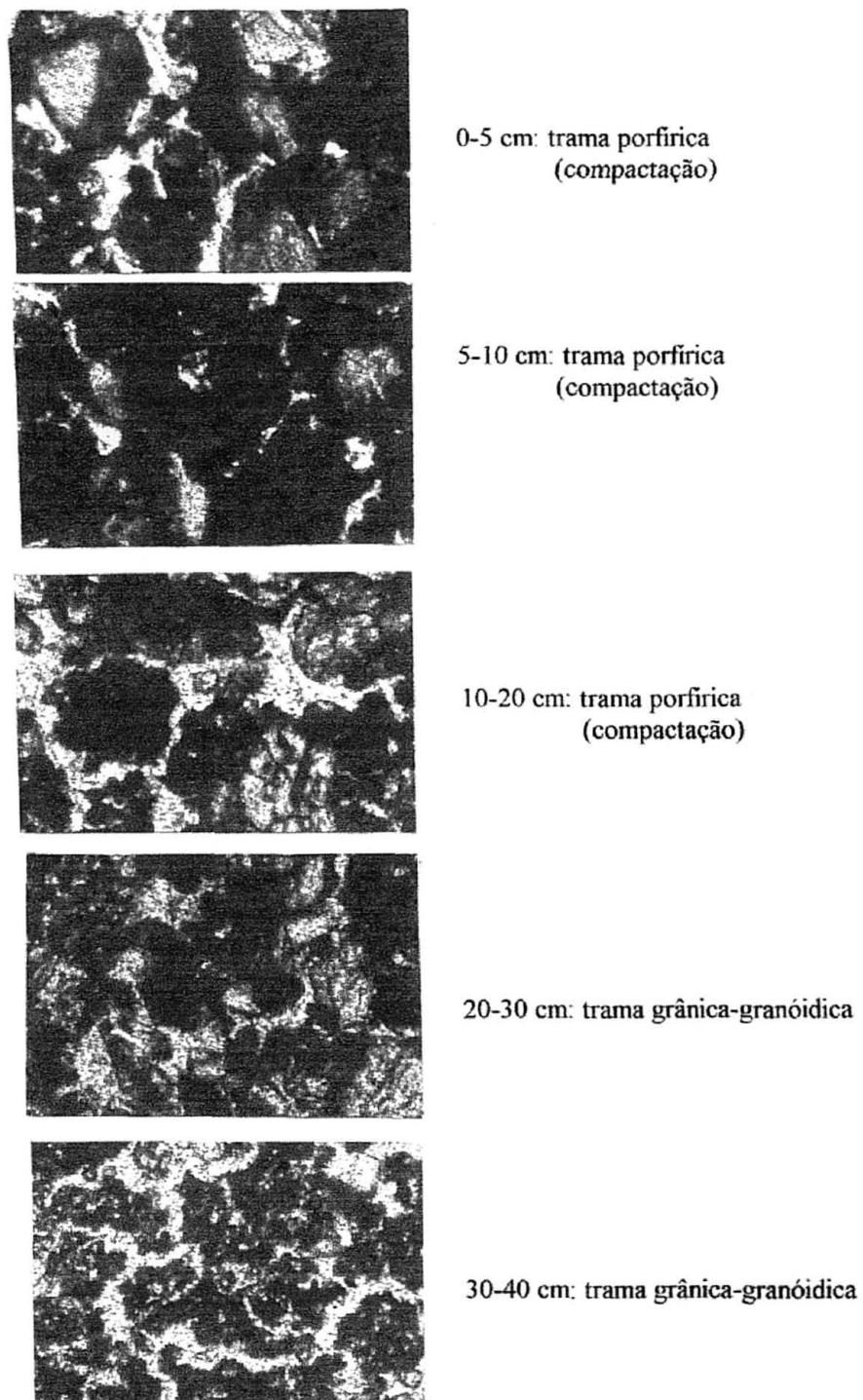


Figura 26: Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de plantio convencional (aumento de 15X): material coloidal (partes escuras); poros (partes claras e tortuosas); grãos de quartzo (partes cinzas).

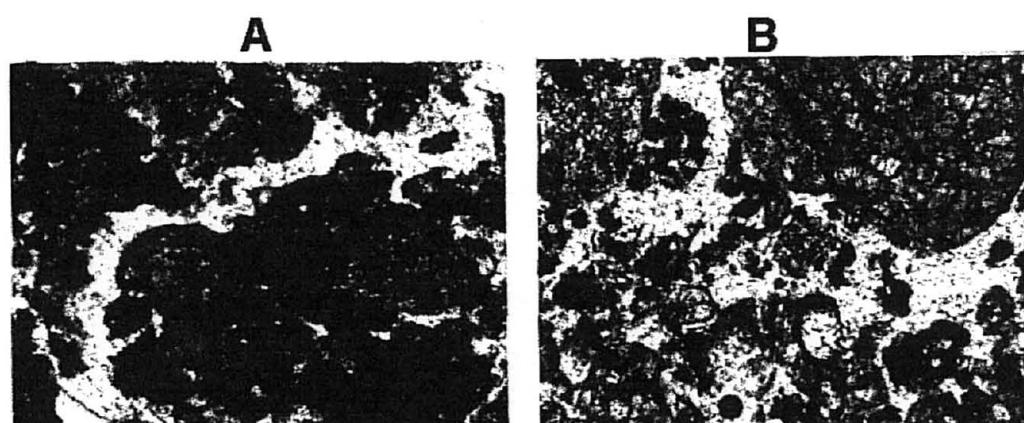


Figura 27: Imagens de seções delgadas em área de plantio convencional, mostrando: A)-canal na camada de 5-10 cm; B)-atividade da fauna em canal na camada de 0-5 cm (aumento 15X).

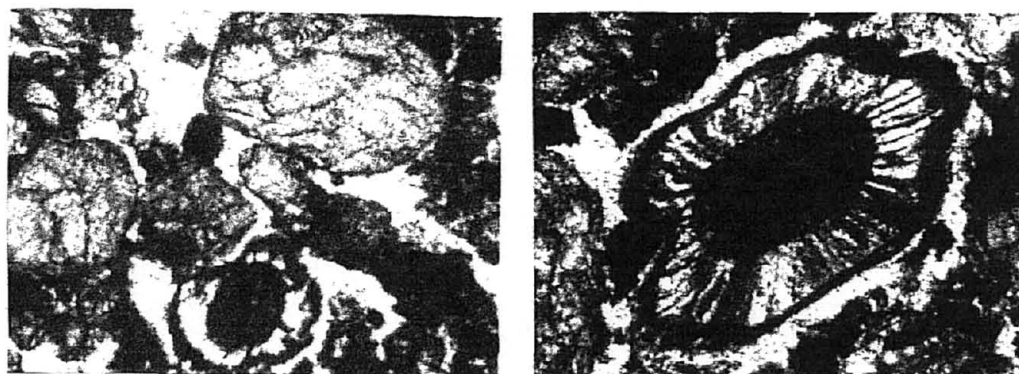
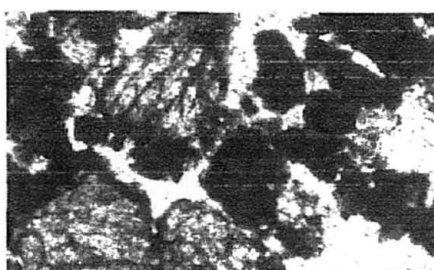
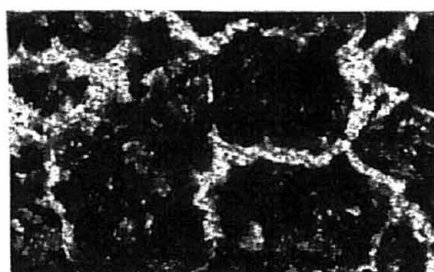


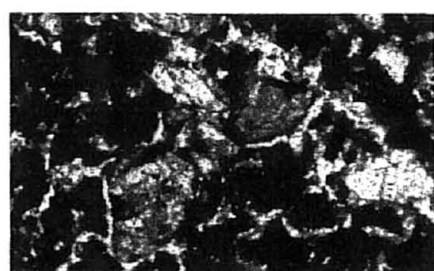
Figura 28: Imagens de seções delgadas em área de plantio convencional, mostrando a presença de restos vegetais; corte transversal de raiz na camada 10-20 cm (aumento 15X).



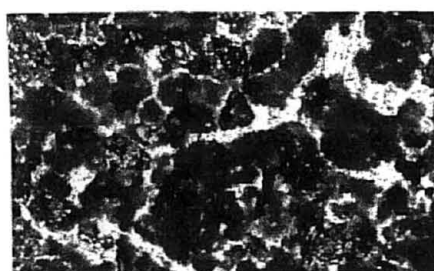
0-5 cm: trama grânica-granóidica
poros de empilhamento
composto (baixa densidade)



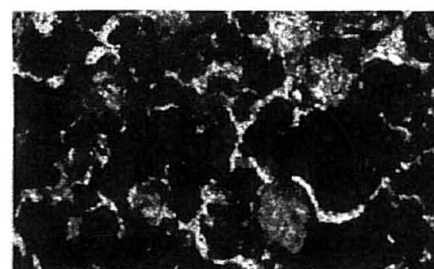
5-10 cm: trama grânica-granóidica



10-20 cm: trama grânica-granóidica



20-30 cm: trama grânica-granóidica



30-40 cm: trama grânica-granóidica

Figura 29: Imagens de seções delgadas de amostras coletadas em sequência de profundidade na área de florestamento (aumento de 15X): material coloidal (partes escuras); poros (partes claras e tortuosas); grãos de quartzo (partes cinzas).

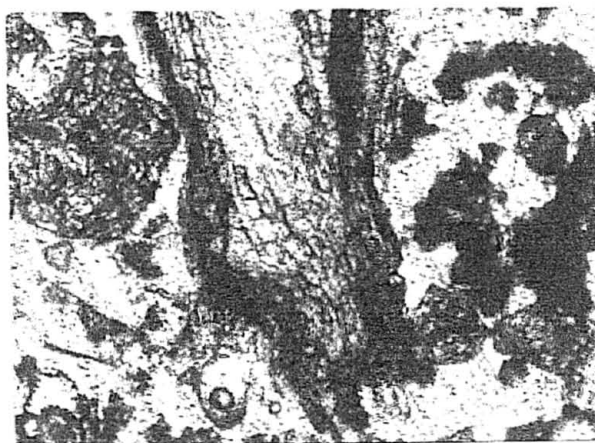
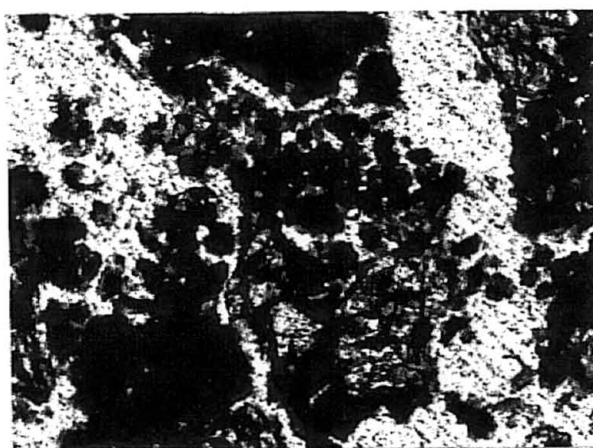
A**B**

Figura 30: Imagens de seções delgadas em área de florestamento, mostrando: A)- Raiz na camada de 5-10 cm; B)-atividade da fauna em canal na camada de 10-20 cm (aumento 15X).

6.0 CONCLUSÕES

O estudo comparativo dos efeitos promovidos por ação de cultivo e uso florestal em algumas propriedades de solos originados de arenitos permitiram as seguintes conclusões:

- A pastagem apresentou maior tendência à compactação em superfície, devido ao manejo inadequado da área, seguida pelo plantio convencional, plantio direto e florestamento.
- O solo sob florestamento apresentou em todas as profundidades amostradas os menores valores de densidade do solo e maior porosidade total;
- Ao longo do perfil as camadas superficiais (0-5 cm) dos sistemas de pastagem e plantio convencional foram aquelas com os mais altos valores de densidade do solo;
- Ocorreu uma tendência de compactação em superfície na área de plantio convencional e em subsuperfície (10-15 cm) no sistema de plantio direto;
- Em subsuperfície (10-15 cm) ocorreu tendência da diminuição da porosidade no plantio direto e aumento no plantio convencional;
- Em profundidade (40-60 cm) a porosidade apresentou tendência à se igualar nos sistemas de plantio direto, pastagem e plantio convencional, o que leva a concluir que os efeitos das atividades agrícolas não se fizeram sentir nessa profundidade;
- Os teores mais elevados de bases trocáveis (Ca, Mg, K) na superfície em plantio direto seguido do plantio convencional é consequência da fertilização; em profundidade os teores são equivalentes para todas as áreas estudadas, refletindo a pobreza do material de origem;
- Teores mais altos em bases no florestamento em relação à pastagem foram atribuídos a ciclagem mais eficiente do sistema florestal ou maior exportação pela última;

- Em relação ao fósforo as práticas de adubação e calagem por 10 anos na área de plantio direto resultaram na presença de maior quantidade do mesmo limitando-se, entretanto, à porção superficial;

- Acompanhando a tendência das bases trocáveis o pH foi mais elevado no plantio direto, contudo, em profundidade (40-60 cm) a diferença em relação às demais áreas não foi significativa;

- As práticas de fertilização e calagem permitiram que a área de plantio direto, originalmente com caráter álico, viesse a adquirir caráter eutrófico na camada superficial (0-10 cm) e distrófico em profundidade (40-60 cm). No plantio convencional somente a camada superficial (0-5 cm) alterou-se para distrófica continuando álica nas demais profundidades, as outras áreas permaneceram álicas.

- Em função da elevação da saturação de bases no sistema sob plantio direto, à classificação do solo sofre mudança de Cambissolo álico para Cambissolo epieutrófico e endodistrófico;

- Tomando-se como verdadeira a hipótese das áreas estudadas possuírem originalmente conteúdos de carbono semelhantes constatou-se que, ao contrário do que é amplamente reportado na literatura, o florestamento não aumentou os níveis de matéria orgânica; por outro lado, foi constatado aumento deste elemento no plantio direto;

- A pastagem apresentou maiores valores de CTC potencial devido ao maior teor de argila encontrado neste tratamento e não devido ao sistema de manejo utilizado.

- Valores mais elevados de CTC potencial em superfície no plantio direto, comparativamente ao florestamento e plantio convencional, foram atribuídos aos efeitos do próprio sistema como maior porcentagem de carbono e pH mais alto, assim como maior teor de argila;

- No plantio direto a CTC efetiva aumentou significativamente devido adubações e calagens
- O uso florestal promoveu a formação de horizonte orgânico e redistribuição do carbono em profundidade;
- Segundo a análise micromorfológica, o tipo de uso influenciou a atividade biológica, sendo mais intensa no florestamento, seguido do plantio direto, plantio convencional e pastagem;
- As áreas de plantio direto, plantio convencional e pastagem sofreram reorganização da trama com conseqüências na distribuição e quantidade de poros;
- Não se constatou efeito do manejo sobre a mineralogia da fração argila;
- As características morfológicas do solo sugeriram, a nível de campo, considerá-los como latossolos, contudo elevados valores de CTC permitem de acordo com a classificação brasileira de solos enquadrá-los como cambissolos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ACQUAYE, D.K.; DOWUONA, G.N.; MERMUTH, A.R. e ARNAUD, R.J. Micromorphology and mineralogy of cracking soils from the Accra plains of Ghana. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 56: 193-201, 1992.
- 2 ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos, características e interpretações técnicas. ANDA, (**Boletim Técnico 6**) S. Paulo, 1992, 26 p.
- 3 ALVARENGA, M.I.N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um latossolo vermelho-escuro em diferentes ecossistemas**. Lavras, 1996. 211p. Dissertação (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Lavras.
- 4 ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo no sistema de plantio direto. **Curso Sobre Manejo do Solo no Sistema de Plantio Direto**. Fundação ABC, Castro-Pr, 272-282, 1995.
- 5 BARNHISEL, R.I.; BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison: Soil Science Society of America, 729-788, 1989.
- 6 BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Relação solo-eucalipto. **Editora folha de Viçosa**, Universidade Federal de Viçosa, 1990, 330p.
- 7 BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de Suelos**. México, hispano-Americana, 1973, 529 p.
- 8 BEAR, F.E. Chemistry of Soil. 3^o ed. **Reinhold**, New York, 1967. 515p.
- 9 BENNEMA, J.; JONGERIUS, A.; LEMOS, R.C. Micromorphology of some oxic and argillic horizons in South Brazil. In: Relations to weathering sequences. **Geoderma**, 4: 333-375, 1970.
- 10 BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico. **Rev. Bras.Ci. do Solo**, Campinas, 18, n 2, 267-271, 1994.
- 11 BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Rev. Bras.Ci. do Solo**, Campinas, 21, n 3, 409-418, 1997.
- 12 BLANK, R.R. e FOSBERG, M.A. Cultivated and adjacent virgins soils in north central south Dakota: II. Mineralogical and micromorphological comparisons. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 53: 1490-1499, 1989.
- 13 BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELIUS, P.L. Influence of no tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, 69, 383-386, 1984.

- 14 BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; CORNELIUS, P.L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, 3: 135-146, 1983.
- 15 BODMAN, G.B.; CONSTANTIN, G.K. **Influence of particle size distribution in soil compaction**. Hilgardia, Berkeley, 36: 567-591, 1966.
- 16 BONFANTE, D.A. **Efeito de sistemas de manejo do solo sobre algumas propriedades físicas em latossolo vermelho-escuro**. Santa Maria, 1983. 80p. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria.
- 17 BOUMA, J.E. e HOLE, F.D. Soil structure and hydraulic conductivity of adjacent pedons at two sites : A Typic Argiudoll (silt loam) and a Typic Eutrochrept (clay). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 35: 316-318, 1971.
- 18 BOUMA, J.; JONGERIJUS, A.; BOERSMA, O.; SCHOONDERBEEK, D.; JAGER, A. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soils horizons. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 41: 945-950, 1977.
- 19 BOUMA, J.; BELMANS, C.F.M.; DEKKER, L.W. Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 46: 917-921, 1982.
- 20 BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Adv. Agronomy**, New York, 46: 2-36, 1991.
- 21 BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 6ª ed., Editora Freitas Bastos S.A. Rio de Janeiro, 1983, 647p.
- 22 BRESSON, L. M.; ZAMBAUX, C. Micromorphological study of compaction induced by mechanical stress for a Dystrochreptic Fragiudalf. In: L.A. Douglas (ed.), **Soil micromorphology : a basic and applied science**. Amsterdam. 33-40. 1990.
- 23 BREWER, R.; PAWLUK, S. Investigations of some soils developed in hummocks of the Canadian sub-arctic and southern arctic region. I. Morphology and micromorphology. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, 55: 301-319, 1975.
- 24 BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. **R.E. Krieger Pub. Co.**, Huntington, N.Y., 1976. 482 p.
- 25 BROWN, O.P. Soil conditions and plant growth. **Longman**, New York, 1995, 266 p.
- 26 BULLOCK, P.; NEWMAN, A.C.D. e THOMASSON, J. Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compactation. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, 5: 325-341, 1985.

- 27 BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R.; AMEMIYA, M.A. Field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Proc. Soil. Sci. Soc. Am.**, Madison, 27: 697-700, 1963.
- 28 CAMARGO, O.A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. **Fundação Cargill**, Campinas, 1983, 44 p.
- 29 CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, **Boletim técnico 106**, 1986, 94 p.
- 30 CARPENEDO, J. ; MIELNCZUK, J.; Distribuição de tamanho de agregados de um solo podzólico vermelho escuro afetado por diferentes sistemas de culturas. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 15, n 2, 219-224, 1991.
- 31 CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R.; De MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA**, Campinas, Fundação Cargill, 21-51 1987.
- 32 CASTRO, O.M. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. **1º Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas**, Curitiba, 34-42, 1995.
- 33 CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. Bras. Ci. solo**, Campinas, 9, 263-266, 1985.
- 34 CHEN, Y.; TARCHITZKEY, J.; BRAUWER, J.; MORIN, J. e BANIN, A. Scanning electron microscopy observations on soil crusts and their formation. **Soil Sci.**, Baltimore, 130: 49-55, 1980.
- 35 CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico de um latosolo roxo do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 7, 323-327, 1983.
- 36 COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and slope lenght on erosion and related parameters**. West Lafayette, Indiana, Purdue University, 1981. 346 p. (Tese de Doutorado).
- 37 COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.** , Madison, 48 (2): 368-373, 1984.
- 38 COGO, N.P. Soil erosion and productivity in Brazil. In: **83 RD Annual Meeting Program**, Denver, Colorado, oct. 27 nov. 1, 1997.
- 39 COLLINS, J. F.; LARNEY, F. J. Micromorphological observations of compacted horizons (cultivation pans) from various horizons in irish tillage soils. In: N.Fedoroff; L.M.Bresson e M.A. Courty (eds.), **Soil Micromorphology**. Paris. 451-457. 1987.

- 40 COSTA, L.M. Aspectos de conservação do solo. In: Aspectos de manejo do solo, **Fundação Cargill**, Campinas, 73-84, 1985.
- 41 CRESSER, M.; KILLHAM, K.; EDWARDS, T. Soil chemistry and its applications. **Cambridge University Press**, 1993, 192 p.
- 42 CURI, N.; LIMA, P.C.; LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. **Boletim Inf. Soc. Brasileira de Ciência do Solo**, 10, 33-43, 1985.
- 43 CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. **XXI Cong. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 447-454, 1988.
- 44 DAROS, E. alterações provocadas pelo florestamento de *Pinus elliottii* na fertilidade de dois solos na região da Lapa-Pr. Curitiba, 1982. 95p. Dissertação (Tese de Mestrado) Universidade Federal do Paraná.
- 45 DEBARBA, L.; AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 21, n.3, 473-480, 1997.
- 46 DEDECEK, R.A. Coberturas permanentes do solo na erosão sob condições de cerrado. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, 24, n 4, 483-488, 1989.
- 47 DEINUN, B., Root mass of swards in different grazing systems. **Netherlands journal of Agricultural Science**, 33, 377-384, 1985.
- 48 DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. **Convênio Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) Gmh**. Eschborn, 1991, 268 p.
- 49 DIXON, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison: Soil Science Society of America, 467-525, 1989.
- 50 DUTARTRE, P.H; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J.M.; ANGE, A. A influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. **Geoderma**, Amsterdam, 56: 459-478, 1993.
- 51 ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latosolo bruno álico. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 13, 259-267, 1989.
- 52 EMBRAPA, Manual de Métodos de análise de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, **Manual de Análise do Solo**, Rio de Janeiro, 1979.

- 53 EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e conservação de solos. **Boletim Técnico n^o 57**, IAPAR, Projeto especial de Levantamento de Solos, **Boletim Técnico n^o 16**, EMBRAPA, Londrina, 1984.
- 54 EMBRAPA, **Manual de Métodos de análise de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2^a ed. , Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- 55 ESWARAN, H. Micromorphology of oxisols. In: **International Soil Classification Workshop**, 2. Malaysia, 1978. Proceedings. Bangkok, Thailand, Soil Survey division. Land Development Department, part 1: Malaysia, 61-72 1979.
- 56 FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, 11-43, 1987.
- 57 FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERINE, J.V. Efeitos de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludolf). **Rev. Bras. Ci. do Solo**, 7, 326-333, 1983.
- 58 FERREIRA, M.M. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades de latossolos brasileiros. Viçosa, 1988. 79 p. Dissertação (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Viçosa.
- 59 FIBGE. Censo Agropecuário n^o 22. Paraná. Censos Econômicos de 1985. **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE**, Rio de Janeiro, 1985, 875 p.
- 60 FITZPATRICK, E.A. **Micromorphology of soils**. London, N.Y., 1984. 433 p.
- 61 FRANCIS, G.S.; CAMERON, K.C.; KEMP, R.A. A comparison of soil porosity and solute leaching after six years of direct-drilling or conventional cultivation. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, 26: 637-649, 1988.
- 62 GAVANDE, S.A. **Física de suelos, principios y aplicaciones**. México, Limusa, 1976, 351 p.
- 63 GOEDERT, W.J.; SYERS, J.K.; COREY, R.B. Relações quantidade-intensidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, 10: 31-35, 1975.
- 64 GOLFARI, L.; BARRET, W.H.C. Comportamiento de las coníferas cultivadas em Puerto Piray. **Suplemento forestal**, Misiones. IDIA, (4): 31-52, 1977.
- 65 GREENLAND, D.J. Changes in the nitrogen states and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of australian soils used for growing wheat. **Soil and Fertilizers Abstract**, Farnham Royal, 34 (3): 237-251, 1971.

- 66 HADAS, A.; WOLF, D. e MEIRSON, J. Tillage implements-soil structure relationships and their effects on crop stands. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, 42: 632-637, 1978.
- 67 HAYNER, R.J. Soil acidification induced by leguminous crops. **Grass and Farage Science**, Oxford, 38: 1-11, 1983.
- 68 HEAL, O.W. Decomposition and nutrient release in even-aged plantations. In: FORD, E.D.; MALCOLM, D.C.; ATTERSON, D.C. ed. **the ecology of even-aged forest plantations**. Proceedings of the meetinf of division. I.IUFRO (Edinburg 1978), 257-292, 1979.
- 69 HSU, P.H. Aluminium hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison: Soil Science Society of America, 331-378, 1989.
- 70 JONGERIUS, A. The role of micromorphology in agricultural research. In: P.Bullock e C.P. Murphy (ed.). **Soil Micromorphology**. vol. 1. A.B. Academic Publishers, Herts, England, 111-138, 1982.
- 71 KAHIL, A.L.E. **Análise das alterações na matéria orgânica do solo causadas pelo florestamento com *Pinus eliottii* na região da Lapa-Pr.** Curitiba, 1986. 196p. Dissertação (tese de Mestrado) Universidade Federal do Paraná.
- 72 KIEHL, J.C. Distribuição e retenção de amônia no solo após aplicação de uréia. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, v. 13, 75-89, 1979.
- 73 KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil. **Soil Science Soc. American Journal**. Madison, 44: 29-43, 1982.
- 74 KOOISTRA, M. J.; JUO, A. S. R. e SCHOONDERBEEK, D. Soil degradation in cultivated Alfisols under different management systems in southwestern Nigeria. In: L.A. Douglas (ed.), **Soil micromorphology: a basic and applied science**. Amsterdam. 61-69, 1990.
- 75 LASO, L.S. **Estado nutricional e fatores de solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba (Pr).** Curitiba, 1990. 128p. Dissertação (tese de Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- 76 LAWS, W.D.; EVANS, D.D. The effects of long-time cultivation on some physical and chemical properties of two Rendzina soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 4: 15-19, 1949.
- 77 LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2 ed. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**, 1989. 45p.
- 78 LEPSCH, I.F. Morfologia do Solo. In: **Elementos de Pedologia**, São Paulo, Universidade de S. Paulo, 341-350 1972.

- 79 LEPSCH, I.F. Influência do cultivo de Eucalyptus e Pinus nas propriedades químicas do solo sob cerrado. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, v. 4, 103-107, 1980.
- 80 LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C. Mineralogia de solos da região de Curitiba, III. Cambissolo derivado do arenito. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. UFPR. Curitiba, 9, n.1-2, 81-88. 1987.
- 81 LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C. Variação temporal das características micromorfológicas em solo sob plantio direto. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. UFPR. Curitiba, 14, n. 1-2, 71-76. 1995.
- 82 LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C. Efeito do plantio direto nas características micromorfológicas do solo. **Rev. Setor de Ciências Agrárias**. UFPR. Curitiba, 14, n.1-2, 31-41. 1995.
- 83 LOPES, M.I.M.S.; MELO, F.; GARRIDO, M.A. Influência do cultivo de Pinus sobre a manta orgânica e propriedades químicas de Latossolo Vermelho-Escuro primitivamente sob vegetação de cerrado. In efeito sobre a quantidade e composição da manta. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 40, 423-436, 1983.
- 84 MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**, Publicação sob os auspícios do Banco de Desenvolvimento do Paraná, da Universidade Federal do Paraná e do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba, .227-230, 1968.
- 85 MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola, nutrição de plantas e fertilidade do solo. **Editora Agronômica Ceres**. São Paulo. 1976. 528p.
- 86 MARTÍN, E.Q.D. **Desenvolvimento da altura dominante de Pinnus Taeda L. como resposta aos fatores do meio na região de Ponta Grossa** Curitiba, 1987. 120 p., Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- 87 MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um latossolo vermelho escuro do arenito Caiuá sob pastagens e culturas anuais. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 31, n 8, p. 593-597, Ago 1996.
- 88 McKEAGUE, J. A.; FOX, C.A.; STONE, J.A.; PROTZ, R. Effect of cropping system on structure of Brookston clay loam in long-term experimental plots at Woodslee. Ontario. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, 67: 571-584, 1987.
- 89 MERMUTH, A.R.; GREVERS, M.C.J.; JONGE. Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, 53: 357-372, 1992.
- 90 MONIZ, A.C. Mineralogia do Solo. In: **Elementos de Pedologia**. São Paulo, Universidade de S. Paulo, 391-407, 1972.

- 91 MONIZ, A.C.; OLIVEIRA, J.B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila de rochas sedimentares e de solos da folha de Piracicaba-SP. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 13, n.3, 375-38, 1994..
- 92 MORAES, W.V. **Comportamento de características e propriedades de um Latossolo Vermelho escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivos**. Lavras, 1984. 107p. Dissertação (Tese de Mestrado), ESALQ.
- 93 MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revi. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, v.7, 95-102, 1983.
- 94 MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo em plantio direto. In. Fundação Cargill, Campinas, **Atualização em Plantio Direto**, 147-160, 1985.
- 95 MUZILLI, O Aspectos de conservação do solo, In: Aspectos de manejo do solo, **Fundação Cargill**, Campinas, 73-84, 1985.
- 96 NORTON, L.D.; SCHROEDER, S.L. The effects of various cultivation methods on soil loss: a micromorphological approach. In: N. Fedoroff, L.M. Bresson e M.A. Courty (eds.), **Soil Micromorphology**. Paris, 431-436. 1987.
- 97 OLIVEIRA, E.F; BAIRRÃO, J.F.M.; CARRARRO, I.M.; BALBINO L.C. Efeito do sistema de preparo do solo nas suas características físicas, químicas e no rendimento de trigo e soja em latossolo roxo. (Resultados de Pesquisa, 4), **Ocepar**, 1990, 54 p.
- 98 OLIVEIRA, J.B. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2^o ed. **FUNEP**, Jaboticabal, 1992.
- 99 PARANÁ, Mapa dos Depósitos Minerais do Estado do Paraná, Secretaria de Estado da Indústria e Comércio, **Mineropar**, 1986.
- 100 PAULA SOUZA, D.M. Alterações físicas, químicas e biológicas provocadas pela cultura do pinus em alguns solos do Paraná. Curitiba, **UFPR**, 1976 (mimeografado).
- 101 PAVAN, M.A.; ROTH C.H. The effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian oxisol. **Ci. Cult. São Paulo**, 44 (6): 391-394, 1992.
- 102 PAWLUK, S. Micromorphological investigations of cultivated gray Luvisols under different management practices. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, 60: 731-745, 1980.
- 103 PEIXOTO, R.T.G.; ELTZ, F.L.F. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto na região dos Campos Gerais, Paraná. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 17. Londrina-Pr, 1986. Resumo. **Sociedade Brasileira de Ciência. do Solo**, EMBRAPA e IAPAR, 56-57, 1988.
- 104 PETRI, S.; FÚLFARO, V.S. **Geologia do Brasil**, São Paulo: T.A. Queiroz, 1981, 557p.

- 105 POTTKER, D. Potássio no solo e respostas as culturas. **Curso Sobre Manejo do Solo no Sistema de Plantio Direto**, Castro-Pr, 1995, 262 p.
- 106 QUINTEROS, M.E. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa**. Curitiba, 1987. 60p. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- 107 REISSMANN, C.B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Rev. do Setor de Ciências Agrárias**, UFPR, v.5, 11-16, 1983.
- 108 REISSMANN, C.B; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H.O.; ZOTTL, H.W.; BLUM, W.E.H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do Grupo Itararé (Carbonífero). **Rev. do Setor de Ciências Agrárias**, UFPR, v. 9, 113-119, 1987.
- 109 RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 100p.
- 110 RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia, base para distinção de ambientes. **NEPUT**, Viçosa, 231-243, 1995.
- 111 RIZZO, L.T.B. **Relações solo-paisagem em uma área do extremo sul do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1991, 166p., Dissertação (Tese de Mestrado), ESALQ.
- 112 ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 21, n 2, 241-247, 1997.
- 113 RUSSELL, E.W. Soil conditions and plant growth. **Reinhold**, N.Y. 1973. 847p.
- 114 RYAN, P.J.; MC GARITY, J.N. The nature and spatial variability of soil properties adjacent to large forest *eucalyptus*. **Soil Science American Journal**, Madison, 47: 286-293, 1983.
- 115 SÁ, J.C.M. Calagem em Solos sob Plantio Direto da Região dos Campos Gerais, Centro Sul do Paraná. **Curso Sobre Manejo do Solo no Sistema de Plantio Direto**, Castro-Pr, 1995, pg. 88.
- 116 SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; BORGES, E.P.; PAIVA, C. Avaliação do sistema de Plantio Direto na Sucessão de soja sobre pastagem de brachiaria. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25, Viçosa, 1816-1818, 1995.
- 117 SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de eldorado do Sul-RS. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 19, 313-320, 1995.

- 118 SANTOS, A.R. **Caracterização mineralógica e avaliação da reserva mineral de alguns nutrientes, em solos sob eucalipto, da região do Vale do Rio Doce.** Viçosa, 1983. 97 p. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal de Viçosa.
- 119 SANCHES, P. Properties and management of soils in the tropics. New York, **John Wiley**, 1976, 618 p.
- 120 SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento.** Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS; 67p. 1988.
- 121 SHIPTALO, J.J.; PROTZ, R. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero-tillage. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, 67: 445-456, 1987.
- 122 SIDIRAS, N.; VIEIRA, M.J. Comportamento de um latosolo roxo distrófico, compactado pelas rodas do trator na semeadura. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, 19(7): 873-882, 1984.
- 123 SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, 249-254. 1985.
- 124 SOUZA, M.L.de P.; SOUZA, D.M. de P.; LUCCHESI, L.A.C. Retenção de água em duas unidades de solos sob reflorestamento de *Pinus elliottii* e campo nativo. **Rev. do Setor de Ciências Agrárias**, 4, 17-22. 1982.
- 125 TEIXEIRA, L.A.J. **Fornecimento de nitrogênio ao milho por sistemas de culturas.** Porto Alegre, 1988. 96p. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 126 TISDALL, J.M.; OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red brown earth. **Aust. J. Soil Res.**, Victoria, 18: 415-422, 1980.
- 127 TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregation in soils. **Soil science**, London, 33: 141-163, 1982.
- 128 TOMÉ JR., J.B. **Manual para interpretação de análises do solo.** Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba, 1997, 247p.
- 129 TORMENA, C.A. **Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciados por preparos pré-implantação, calagem e tráfego.** Curitiba, 1991. 155p. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- 130 TOSIN, J.C. **Influência do *Pinus elliottii*, da *Araucaria angustifolia* e da mata nativa sobre a atividade da microflora do solo.** Curitiba, 1977. Dissertação (Tese de Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- 131 TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + tremoço/milho, após pastejo intensivo. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, n. 15, 105-111, 1991.

- 132 TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; LIMA, J.M.J.C. Morfologia dos horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. **Rev. do Setor de Ciências Agrárias**, UFPR, 9, 59-62. 1987.
- 133 VELLASCO, F.P.; LOZANO, J.M. Cambios sinecológicos de la microflora telúrica asociados a las repoblaciones forestales con espécies exóticas. **An Edafol. Agrobiol.**, Madrid, 37: 871-878, 1979.
- 134 VICENZI, M.L. Práticas de manejo de pastagens associadas a lavouras. In: **Congresso Brasileiro de Pastagens**, 10, Piracicaba: FEALQ, 1-16, 1986.
- 135 VIEIRA, L.S. Manual de Ciência do Solo, **Editora Agronômica Ceres Ltda.**, São Paulo, 1975, 251p.
- 136 VIEIRA, M.J.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (*Glycine max* Merr.) em condições de chuva simulada. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, vol. 2, n. 3, 209-214. 1978.
- 137 WESTFALL, D.G.; KITCHEN, M.R.; HAULIN, J.L. Soil sampling: guidelines for band-applied phosphorus; **Better Crops with Plant Food**. Atlanta, 75: 24-28, 1991.
- 138 ZEIKUS, J.G. Lignin metabolism and the carbon cycle. Polymer biosynthesis, biodegradation and environmental recalcitrance. **Advances in Microbial Ecology**, 5: 211-243, 1981.

ANEXOS

DESCRIÇÃO DOS PERFIS

PERFIL 1 (Plantio Direto)

DATA- 26/04/97

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISOLO Ta álico A proeminente textura média fase campo subtropical relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO: 400 m da sede, lado direito da estrada (afastado 11 m da estrada).

SITUAÇÃO E DECLIVE: Trincheira situada em superfície plana, no topo da vertente.

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itararé, rocha sedimentar do período permiano.

RELEVO LOCAL: Plano a suave ondulado.

ALTITUDE: 992 m.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO NATURAL: Campo subtropical.

CLIMA: Cfb da classificação de Köppen.

USO ATUAL: Plantio Direto, Culturas Anuais (milho, soja e aveia).

DESCRITO E COLETADO POR: Roberto Carlos de Almeida.

- Ap 0-20 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); franco argilo arenoso; fraca pequena a média granular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A2 20-35 cm, bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); franco argiloso arenoso; forte pequena a média granular, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana.
- AB 35-60 cm, bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); franco argilo arenoso; forte média granular, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- BA 60-95 cm, vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); franco argilo arenoso; forte média granular; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi1 95-121 cm, vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); franco argilo arenoso; forte grande granular; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi2 121-155 cm⁺, vermelho escuro (2,5 YR 4/6, úmido); franco argilo arenoso; forte grande granular; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes: muitas no Ap, poucas no AB.

8.1.2 PERFIL 2 (Pastagem)

DATA- 26/04/97

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO Ta álico A proeminente textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO: 400 m da sede, lado esquerdo da estrada (afastado 06 m da estrada).

SITUAÇÃO E DECLIVE: Trincheira situada em superfície plana, no topo da vertente.

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itararé, rocha sedimentar do período permiano.

RELEVO LOCAL: Plano a suave ondulado.

ALTITUDE: 991 m.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO NATURAL: Campo subtropical.

CLIMA: Cfb da classificação de Köppen.

USO ATUAL: Campo Nativo

DESCRITO E COLETADO POR: Roberto Carlos de Almeida.

- A1 0-20 cm, bruno escuro (10YR 2/1, úmido); argilo arenosa; moderada pequena granular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A2 20-30 cm, bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido); argilo arenosa; moderada pequena a média granular; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A3 30-45 cm, bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); argilo arenosa; moderada pequena a média granular; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- AB 45-72 cm, bruno amarelado escuro (10 YR 3/4, úmido); argilo arenosa; moderada média granular; duro e firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
- BA 72-117 cm, bruno forte (7,5 YR 5/6, úmido); argila; moderada grande blocos subangulares com aspecto de maciça porosa; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi 117-150 cm⁺, vermelho amarelado (5 YR 5/6, úmido) argila; moderada grande blocos subangulares; duro, firme, plástico e pegajoso.

Raízes: muitas no A1 e A2 , poucas no A3 e AB, raras no BA.

PERFIL 3 (Plantio Convencional)

DATA- 27/04/97

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO Ta álico A proeminente textura média fase campo subtropical relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO: 1270 m da sede (870 m do perfil 1) , lado esquerdo da estrada (afastado 52 m da estrada).

SITUAÇÃO E DECLIVE: Trincheira situada em meia encosta.

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itararé, rocha sedimentar do período permiano.

RELEVO LOCAL: Plano a suave ondulado.

ALTITUDE: 980 m.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO NATURAL: Campo subtropical.

CLIMA: Cfb da classificação de Köppen.

USO ATUAL: Plantio Convencional (arroz).

DESCRITO E COLETADO POR: Roberto Carlos de Almeida.

- Ap 0-25 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); franco arenoso; fraca muito pequena a pequena granular e fraca pequena blocos angulares e subangulares; ligeiramente duro; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- AB 25-40 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 4/4, úmido); franco argilo arenoso; moderado a fraca pequena a muito pequena granular; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- BA 40-58 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido); franco argilo arenoso; moderado e fraca pequena a média blocos subangulares com aspecto de maciça porosa; ligeiramente duro, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi1 58-117 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); franco argilo arenoso; moderada e fraca médio blocos subangulares, ligeiramente dura, porosa; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi2 117-150 cm⁺, vermelho (2,5 YR 4/6, úmido); franco argilo-arenoso; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, plástico e pegajoso.

Raízes: muitas no Ap, poucas no AB.

PERFIL 4 (Florestamento)

DATA- 27/04/97

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISOLO Ta álico A proeminente textura média fase campo subtropical relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO: 3.570 m da sede (2.300 m do perfil 3).

SITUAÇÃO E DECLIVE: Trincheira situada em meia encosta.

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itararé, rocha sedimentar do período permiano.

RELEVO LOCAL: Plano a suave ondulado.

ALTITUDE: 950 m.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO NATURAL: Campo subtropical.

CLIMA: Cfb da classificação de Köppen.

USO ATUAL: Florestamento de coníferas (*Pinus eliotti*).

DESCRITO E COLETADO POR: Roberto Carlos de Almeida.

- O 12-0 cm, camada orgânica não decomposta.
- A1 0-38 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 2,5/2, úmido); franco arenoso; fraca muito pequena granular; solto e macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- AB 38-65 cm, bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); franco arenoso; forte pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 65-107 cm, bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4, úmido); franco argilo arenoso; forte muito pequena granular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bi1 107-130 cm, bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); franco argilo arenoso; forte pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bi2 130-170 cm⁺, vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido) franco argilo arenoso; forte pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso.

Raízes: muitas até os 13 cm, diminuindo em profundidade, sendo comuns até os 65 cm de profundidade e poucas no Bi1 e Bi2.

ANÁLISES DE VARIANÇAS

DENSIDADE DA PARTÍCULA

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.036	0.009	0.9396	
2	Tratamento	3	0.352	0.117	12.2282	0.0006
-3	Erro A	12	0.115	0.010		
4	Profundidade	5	0.198	0.040	5.3557	0.0003
6	Interação AB	15	0.165	0.011	1.4892	0.1293
-7	Erro B	80	0.592	0.007		
	Total	119	1.458			

Coefficiente de Variação: 3.32%

DENSIDADE DO SOLO

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.615	0.154	1.6523	0.2251
2	Tratamento	3	4.315	1.438	15.4609	0.0002
-3	Erro A	12	1.116	0.093		
4	Profundidade	5	0.402	0.080	4.1081	0.0023
6	Interação AB	15	0.238	0.016	0.8113	
-7	Erro B	80	1.565	0.020		
	Total	119	8.251			

Coefficiente de Variação: 10.54%

AREIA FINA

Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1 Repetição	4	17.333	4.333	1.6525	0.2251
2 Tratamento	3	909.867	303.289	115.6610	0.0000
-3 Erro A	12	31.467	2.622		
4 Profundidade	5	13.467	2.693	0.9255	
6 Interação AB	15	29.733	1.982	0.6812	
-7 Erro B	80	232.800	2.910		
Total	119	1234.667			

Coefficiente de Variação: 11.90%

AREIA GROSSA

Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1 Repetição	4	15.133	3.783	0.9044	
2 Tratamento	3	9192.633	3064.211	732.4807	0.0000
-3 Erro A	12	50.200	4.183		
4 Profundidade	5	32.567	6.513	2.9295	0.0176
6 Interação AB	15	47.567	3.171	1.4263	0.1556
-7 Erro B	80	177.867	2.223		
Total	119	9515.967			

Coefficiente de Variação: 3.51%

AREIA

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	4.467	1.117	0.3635	
2	Tratamento	3	14939.300	4979.767	1620.9005	0.0000
-3	Erro A	12	36.867	3.072		
4	Profundidade	5	30.300	6.060	1.9782	0.0908
6	Interação AB	15	53.300	3.553	1.1600	0.3200
-7	Erro B	80	245.067	3.063		
Total		119	15309.300			

Coeficiente de Variação: 3.08%

SILTE

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	27.867	6.967	2.2473	0.1247
2	Tratamento	3	1024.800	341.600	110.1935	0.0000
-3	Erro A	12	37.200	3.100		
4	Profundidade	5	137.467	27.493	5.9682	0.0001
6	Interação AB	15	98.000	6.533	1.4182	0.1592
-7	Erro B	80	368.533	4.607		
Total		119	1693.867			

Coeficiente de Variação: 12.29%

ARGILA

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	31.133	7.783	6.2267	0.0060
2	Tratamento	3	11539.833	3846.611	3077.2889	0.0000
-3	Erro A	12	15.000	1.250		
4	Profundidade	5	103.767	20.753	7.4031	0.0000
6	Interação AB	15	29.967	1.998	0.7126	
-7	Erro B	80	224.267	2.803		
Total		119	11943.967			

Coeficiente de Variação: 6.52%

NUTRIENTES

ALUMÍNIO TROCÁVEL

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.763	0.191	0.9202	
2	Tratamento	3	198.985	66.328	319.8254	0.0000
-3	Erro A	12	2.489	0.207		
4	Profundidade	5	1.721	0.344	4.5955	0.0010
6	Interação AB	15	8.930	0.595	7.9487	0.0000
-7	Erro B	80	5.992	0.075		
Total		119	218.880			

Coeficiente de Variação: 13.68%

pH

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.211	0.053	1.6119	0.2346
2	Tratamento	3	7.273	2.424	73.9619	0.0000
-3	Erro A	12	0.393	0.033		
4	Profundidade	5	0.243	0.049	7.2553	0.0000
6	Interação AB	15	1.144	0.076	11.3931	0.0000
-7	Erro B	80	0.535	0.007		
Total		119	9.799			

Coeficiente de Variação: 1.94%

ACIDEZ POTENCIAL (H + Al)

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	7.271	1.818	1.7501	0.2038
2	Tratamento	3	1003.135	334.378	321.9347	0.0000
-3	Erro A	12	12.464	1.039		
4	Profundidade	5	4.047	0.809	1.6196	0.1643
6	Interação AB	15	41.126	2.742	5.4854	0.0000
-7	Erro B	80	39.985	0.500		
Total		119	1108.028			

Coeficiente de Variação: 7.22%

CARBONO

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	154.019	38.505	9.0194	0.0013
2	Tratamento	3	198.741	66.247	15.5178	0.0002
-3	Erro A	12	51.229	4.269		
4	Profundidade	5	1568.145	313.629	78.5080	0.0000
6	Interação AB	15	148.617	9.908	2.4801	0.0048
-7	Erro B	80	319.589	3.995		
Total		119	2440.339			

Coefficiente de Variação: 11.88%

CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	4.595	1.149	0.8572	
2	Tratamento	3	624.658	208.219	155.3976	0.0000
-3	Erro A	12	16.079	1.340		
4	Profundidade	5	40.290	8.058	14.4681	0.0000
6	Interação AB	15	28.151	1.877	3.3696	0.0002
-7	Erro B	80	44.556	0.557		
Total		119	758.328			

Coefficiente de Variação: 6.30%

SATURAÇÃO POR BASES

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	110.976	27.744	0.7685	
2	Tratamento	3	14508.673	4836.224	133.9553	0.0000
-3	Erro A	12	433.239	36.103		
4	Profundidade	5	3192.551	638.510	70.6930	0.0000
6	Interação AB	15	3497.067	233.138	25.8120	0.0000□
-7	Erro B	80	722.573	9.032		
Total		119	22465.079			

Coefficiente de Variação: 16.88%

SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	139.125	34.781	0.3743	
2	Tratamento	3	55133.666	18377.889	197.7668	0.0000
-3	Erro A	12	1115.125	92.927		
4	Profundidade	5	7139.329	1427.866	52.5103	0.0000
6	Interação AB	15	5216.118	347.741	12.7883	0.0000
-7	Erro B	80	2175.369	27.192		
Total		119	70918.732			

Coefficiente de Variação: 10.20%

CÁLCIO e MAGNÉSIO

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.965	0.241	0.4723	
2	Tratamento	3	172.558	57.519	112.6506	0.0000
-3	Erro A	12	6.127	0.511		
4	Profundidade	5	52.043	10.409	72.6118	0.0000
6	Interação AB	15	61.994	4.133	28.8319	0.0000
-7	Erro B	80	11.468	0.143		
Total		119	305.154			

Coeficiente de Variação: 19.92%

POTÁSSIO TROCÁVEL

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	0.030	0.007	3.3501	0.0463
2	Tratamento	3	0.054	0.018	8.1386	0.0032
-3	Erro A	12	0.027	0.002		
4	Profundidade	5	0.321	0.064	66.4530	0.0000
6	Interação AB	15	0.068	0.005	4.6972	0.0000
-7	Erro B	80	0.077	0.001		
Total		119	0.578			

Coeficiente de Variação: 22.04%

FÓSFORO

	Fator	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Valor P
1	Repetição	4	45.748	11.437	0.8078	
2	Tratamento	3	132.269	44.090	3.1142	0.0665
-3	Erro A	12	169.889	14.157		
4	Profundidade	5	87.989	17.598	3.8046	0.0038
6	Interação AB	15	115.697	7.713	1.6676	0.0748
-7	Erro B	80	370.032	4.625		
	Total	119	921.623			

Coeficiente de Variação: 117.82%

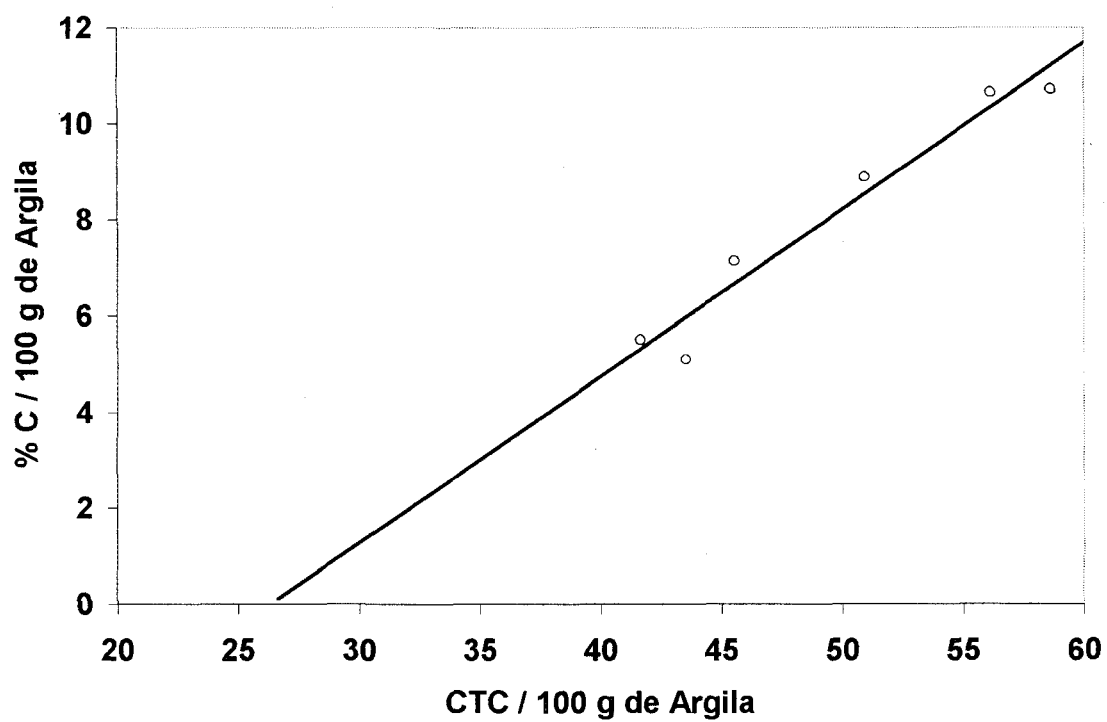
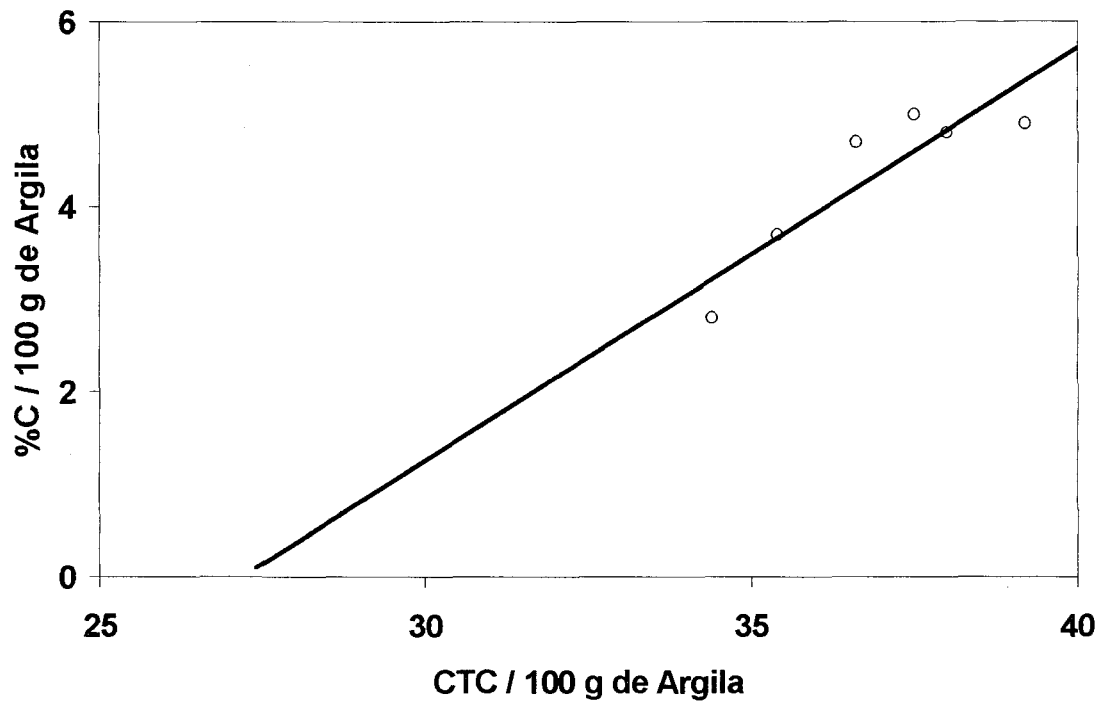
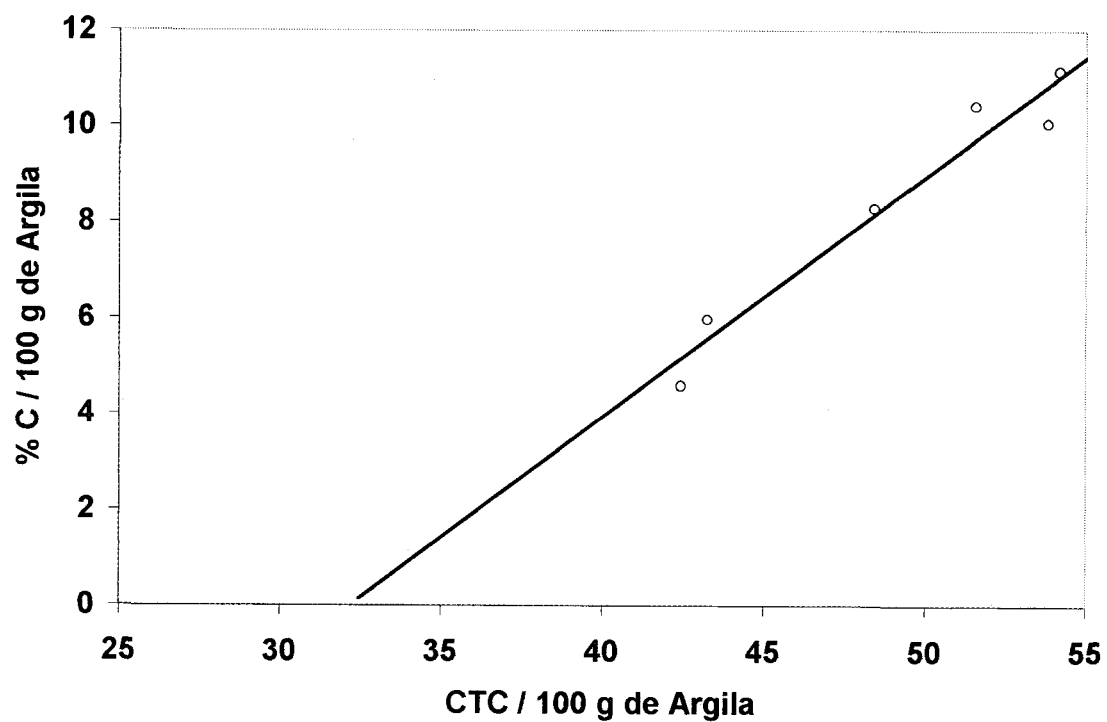
Figura 31: CTC mineral na área de plantio direto**Figura 32: CTC mineral na área de pastagem**

Figura 33: CTC mineral na área de plantio convencional**Figura 34: CTC mineral na área de florestamento**